



UNIVERSIDADE DE LISBOA

FACULDADE DE MOTRICIDADE HUMANA



**RELAÇÃO ENTRE O MINERAL ÓSSEO E PARÂMETROS BRUTOS DA
ANÁLISE POR IMPEDÂNCIA BIOELÉTRICA EM ATLETAS EM FASE PÓS-
CARREIRA COM EXCESSO DE PESO E OBESIDADE**

Dissertação elaborada com vista à obtenção do grau de Mestre em

Exercício e Saúde

Orientadora: Professora Doutora Analiza Mónica Lopes de Almeida Silva

Júri:

Presidente:

Professora Doutora Joana Filipa de Jesus Reis, professora auxiliar da Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa

Vogais:

Professora Doutora Analiza Mónica Lopes de Almeida Silva, professora associada com agregação da Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa

Professor Doutor Luís Alberto Gobbo, professor associado da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho (UNESP)

Joana dos Santos Ferreira

2022

AGRADECIMENTOS

A conclusão desta dissertação de mestrado representa a conquista do período mais desafiante da minha vida. Simboliza o fim de uma jornada de persistência, resiliência e entrega. Uma jornada que apesar de árdua, esteve repleta de momentos de aprendizagem, tanto a nível pessoal como a nível profissional. Desta forma, gostaria de deixar o agradecimento às pessoas que contribuíram para a realização desta tese.

Em primeiro lugar, quero deixar o meu agradecimento à professora Doutora Analiza Silva. Sem dúvida, a professora mais espetacular com quem tive a oportunidade de aprender. Obrigada por toda a partilha de conhecimento, pela disponibilidade, orientação e competência. Sem dúvida, a minha maior referência no mundo da investigação. Por mais que o tempo passe, as palavras certas nos momentos chave, nunca serão esquecidas. Deste modo, quero destacar e agradecer pelo seu bonito lado humano. Obrigada por acreditar em mim!

À doutoranda Catarina Nunes, pela sua disponibilidade, pelos seus conselhos e colaboração. Mais do que uma excelente investigadora é uma admirável pessoa, sempre pronta a ajudar. Temos ainda de agradecer pela sua paciência e motivação permanente ao longo desta caminhada.

Aos doutorandos Rúben Francisco e ao Filipe Jesus do Laboratório de Exercício e Saúde foi um prazer poder contactar com dois futuros e promissores investigadores.

Ao corpo docente do Mestrado de Exercício e Saúde, quero deixar a minha gratidão pelo impacto que tiveram na minha formação profissional e pessoal.

Aos meus pais, os meus maiores pilares, os meus super-heróis. Humildes, trabalhadores e resilientes são as características que tão bem os descrevem. Obrigada por me permitirem continuar a lutar pelos meus sonhos, estando lá para me amparar nos momentos menos positivos. Não existem palavras suficientes para agradecer os vossos esforços diários.

Ao meu irmão, o meu primeiro amigo, e o meu grande protetor, um grande obrigada pelas aprendizagens constantes, pelos conselhos facultados, pelas palavras meigas transmitidas para extrair sempre a melhor versão de mim.

A toda a minha família do atletismo, aqueles que diariamente batalham comigo na realização de sonhos desportivos. São eles o grupo de pessoas que me mostram que o limite é o céu, e que mesmo acima da impossibilidade há sempre uma oportunidade.

A todos os meus amigos, obrigada pela amizade, pelos momentos e experiências vivenciados, pelas gargalhadas, pela compreensão do meu estilo de vida e pelos incentivos constantes ao longo dos desafios que me foram surgindo.

A todos o meu maior e sincero obrigada!

RESUMO

Introdução: Os objetivos deste estudo foram analisar a relação entre o Conteúdo Mineral Ósseo (CMO) e a Densidade Mineral Óssea (DMO) com os parâmetros brutos da Análise Vetorial de Impedância Bioelétrica (BIVA); e comparar a BIVA Clássica e Específica em atletas em fase pós-carreira com excesso de peso e obesidade de acordo com o percentil do CMO e da DMO.

Métodos: Foram analisados 60 atletas em fase pós-carreira do sexo masculino e 32 do sexo feminino, com média de idades de $42,8 \pm 9,9$ anos e $43,5 \pm 8,7$ anos, respetivamente. Com recurso à Densitometria Radiológica de Dupla Energia (DXA), foram obtidos os valores de Massa Gorda (MG), Massa Isenta de Gordura (MIG), CMO e DMO. A Resistência (R), a Reactância (Xc) e o Ângulo de Fase (AnF) foram medidos com a Impedância Bioelétrica Espectral (BIS) (Xitron – 4200) a uma frequência de 50 kHz. Os percentis do CMO e da DMO foram calculados, considerando o sexo, idade e etnia de cada indivíduo, de acordo com *National Health and Nutrition Examination Survey* (NHANES). O gráfico R-Xc foi utilizado para analisar os vetores segundo os diferentes níveis (acima do percentil 50 *versus* abaixo ou no percentil 50) de CMO e de DMO.

Resultados: Para a amostra total verificou-se uma associação forte entre a R ajustada para a altura (R/H) com o CMO ($r = -0,705$; $p < 0,001$) e a DMO ($r = -0,552$; $p < 0,001$). Também o AnF apresentou correlações positivas moderadas com o CMO ($r = 0,513$; $p < 0,001$) e a DMO ($r = 0,461$; $p < 0,001$). Exclusivamente no sexo masculino, o CMO e a DMO estiveram negativamente correlacionados com a R/H ($r = -0,457$, $p < 0,001$; $r = -0,365$; $p < 0,01$, respetivamente). Quando considerados os dois grupos de composição corporal segundo os percentis, a R/H diferiu significativamente entre os indivíduos do sexo masculino ($p < 0,05$) e consequentemente a distribuição do vetor no gráfico R-Xc apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os dois grupos ($p < 0,05$).

Conclusão: Existe uma associação negativa entre a R/H com o CMO e a DMO no sexo masculino, mas não no feminino. Adicionalmente, a BIVA Clássica difere entre os atletas em fase pós-carreira do sexo masculino que se encontram acima e abaixo ou no percentil 50 para o CMO e DMO.

Palavras-Chave: Atletas em fase pós-carreira, Excesso de Peso, Obesidade, Impedância Bioelétrica, BIVA, Conteúdo Mineral Ósseo, Densidade Mineral Óssea, Resistência, Reactância, Densitometria Radiológica de Dupla Energia

ABSTRACT

Introduction: The objectives of this study were to analyse the association between Bone Mineral Content (BMC) and Bone Mineral Density (BMD) with the raw parameters of Bioelectrical Impedance Vector Analysis (BIVA); and to compare the Classic and Specific BIVA in former elite athletes with overweight and obesity according to BMC and BMD percentiles.

Methods: Sixty male and 32 female former elite athletes were analysed, with a mean age of 42.8 ± 9.9 years and 43.5 ± 8.7 years, respectively. Using Dual Energy Radiological Densitometry (DXA), the Fat Mass (FM), Fat Free Mass (FFM), BMC and BMD values were obtained. Resistance (R), Reactance (Xc) and Phase Angle (PhA) were measured using Multispectral Bioelectrical Impedance (BIS) (Xitron – 4200) at a frequency of 50 kHz. The BMC and BMD percentiles were calculated, considering the sex, age, and ethnicity of everyone, according to the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES). The R-Xc plot was used to analyse the vectors according to the different levels (above the 50th percentile versus below or at the 50th percentile) of BMC and BMD.

Results: For the total sample, there was a strong association between height-adjusted R (R/H) and BMC ($r = - 0.705$; $p < 0.001$) and BMD ($r = - 0.552$; $p < 0.001$). PhA also showed moderate positive correlations with BMC ($r = 0.513$; $p < 0.001$) and with BMD ($r = 0.461$; $p < 0.001$). Exclusively in males, BMC and BMD were shown to be negatively correlated with R/H ($r = - 0.457$, $p < 0.001$; $r = - 0.365$; $p < 0.01$, respectively). When considering the two groups of body composition according to percentiles, the R/H differed significantly between males ($p < 0.05$) and consequently the vector distribution in the R-Xc graph showed statistically significant differences between the two groups ($p < 0.05$).

Conclusion: There is a negative association between R/H and BMC and BMD in males, but not in females. Additionally, Classical BIVA differs between former elite male athletes who are above and below or in the 50th percentile for BMC and BMD.

Key Words: Former Athletes, Overweight, Obesity, Bioimpedance, BIVA, Bone Mineral Content, Bone Mineral Density, Resistance, Reactance, Dual Energy X-Ray Absorptiometry

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE DE TABELAS E FIGURAS	X
ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1. Composição Corporal	4
2.1.1. Regras da Composição Corporal	5
2.1.1.1. Nível Atômico	6
2.1.1.2. Nível Molecular	7
2.1.1.2.1. Água	8
2.1.1.2.2. Proteína	8
2.1.1.2.3. Glicogénio	9
2.1.1.2.4. Mineral	9
2.1.1.2.5. Lípidos	9
2.1.1.3. Nível Celular	10
2.1.1.3.1. Células	11
2.1.1.3.2. Fluídos extracelulares	11
2.1.1.3.3. Sólidos Extracelulares	11
2.1.1.4. Nível Tecidual	11
2.1.1.4.1. Tecido Adiposo	12
2.1.1.4.2. Tecido Muscular	12
2.1.1.4.3. Tecido Ósseo	12
2.1.1.5. Nível corpo inteiro	12
2.1.2. Questões Metodológicas na determinação de Composição Corporal	12
2.1.2.1. Modelo a 2C	13
2.1.2.2. Modelo a 3C	14
2.1.2.2.1. Densitometria Radiológica De Dupla Energia (DXA)	15
2.1.2.3. Modelo a 4C	18
2.1.3. Impedância Bioelétrica (BIA)	19

2.1.3.1. Número de Frequências	25
2.1.3.2. Impedância Bioelétrica de Unifrequência (UF-BIA)	25
2.1.3.3. Impedância Bioelétrica de frequência múltipla (MF – BIA).....	26
2.1.3.4. Impedância Bioelétrica Espectral (BIS)	27
2.1.3.5. Região Corporal.....	27
2.1.3.6. Análise Vetorial De Impedância Bioelétrica (BIVA).....	28
2.1.3.6.1. BIVA Clássica	29
2.1.3.6.2. BIVA Específica.....	31
2.2. Atletas em Fase Pós-Carreira.....	34
2.2.1. Obesidade	35
2.2.1.1. Relação entre a Obesidade e Saúde Óssea.....	37
2.2.1.1.1. Substituição de osteoblastos por células de gordura na medula óssea	39
2.2.1.1.2. Aumento da inflamação presente na obesidade	39
2.2.1.1.3. Mutações no gene associado à massa gorda e obesidade (FTO)	40
2.2.1.1.4. Aumento do metabolismo e senescência acelerada em células-tronco do estroma.....	40
3. PERTINÊNCIA DO ESTUDO	41
4.. METODOLOGIA	44
4.1. Desenho do Estudo e Amostra	44
4.1.1. Recrutamento.....	44
4.1.2. Critérios de Inclusão	45
4.1.3. Critérios de Exclusão.....	45
4.2. Procedimentos	46
4.2.1. Avaliação da Composição Corporal	46
4.2.1.1. Antropometria	46
4.2.1.2. Densitometria Radiológica de Dupla Energia (DXA).....	46
4.2.1.3. Análise de Impedância Bioelétrica (BIA)	47
4.2.2. Análise Estatística	48
5. RESULTADOS	50
5.1. Caraterização da Amostra	50

5.2. Relação entre o Conteúdo Mineral Ósseo (CMO) e a Densidade Mineral Óssea (DMO) com as variáveis bioelétricas.....	51
5.3. Distribuição dos Atletas em Fase Pós-Carreira de acordo com os Percentis do Conteúdo Mineral Ósseo (CMO) e da Densidade Mineral Óssea (DMO)	55
5.4. Comparação entre os dois grupos de Composição Corporal: indivíduos colocados abaixo ou no percentil 50 com os indivíduos colocados acima do percentil 50 para o CMO e DMO, de acordo com o sexo.....	57
5.5. Análise Vetorial De Impedância Bioelétrica (BIVA) Clássica e Específica de acordo com a Classificação do percentil do Conteúdo Mineral Ósseo (CMO) e da Densidade Mineral Óssea (DMO).....	58
6. DISCUSSÃO.....	65
LIMITAÇÕES	72
7. CONCLUSÃO.....	74
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75

ÍNDICE DE TABELAS E FIGURAS

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Composição corporal no nível molecular (II) para um indivíduo homem de referência com 70 kg	8
Tabela 2 - Características demográficas e da composição corporal dos atletas em fase pós-carreira, divididas por sexo.....	50
Tabela 3 - Correlações entre as variáveis bioelétricas e o Mineral Ósseo (Conteúdo Mineral Ósseo e Densidade Mineral Óssea).....	53
Tabela 4 – Análise de Regressão Múltipla entre o R/H e o CMO e a DMO.....	54
Tabela 5 - Análise de Regressão Múltipla entre o Xc/H e o CMO e a DMO	55
Tabela 6 - Parâmetros Bioelétricos de acordo com a Classificação do percentil de CMO	57
Tabela 7 - Parâmetros Bioelétricos de acordo com a Classificação do percentil de DMO	58
Tabela 8 - Estatística descritiva e comparativa entre grupos com diferentes percentis de CMO e DMO: valores bioelétricos Clássicos	59
Tabela 9 - Estatística descritiva e comparativa entre grupos com diferentes percentis de CMO e DMO: valores bioelétricos Específicos	60

Índice de Figuras

Figura 1 - As três áreas de investigação da Composição Corporal (Zi-Mian Wang et al., 1992).....	5
Figura 2 - DXA a 3 compartimentos (3C) do Modelo Molecular compreendendo a Massa Gorda, Massa Isenta de Gordura e Osso e o Mineral Ósseo, adaptado de Pietrobelli e seus colaboradores (1996).	16
Figura 3 - Quadrantes estacionários da BIVA Clássica e migração do vetor de acordo com o estado de hidratação e o conteúdo dos tecidos moles. (a) Quadrantes de estado estacionário dos tecidos; (b) Migração do vetor BIVA. A composição corporal ótima está localizada no centro (elipses 50% e 75%). A migração do vetor para uma certa direção representa uma modificação no estado de hidratação ou do tecido mole do indivíduo (Limon-Miro et al., 2019).....	30
Figura 4 - Quadrantes estacionários da BIVA Específica. Retirado de: http://www.specificbiva.com/data/guide.pdf	32
Figura 5 - Correlação entre o Ângulo de Fase e o CMO e DMO. Azul: indivíduos do sexo masculino; Rosa: indivíduos do sexo feminino	52
Figura 6 - Distribuição dos atletas em fase pós-carreira de acordo com o percentil do CMO	56
Figura 7 - Distribuição dos atletas em fase pós-carreira de acordo com o percentil da DMO.....	56
Figura 8 - Vetores Clássicos médios de impedância e elipses de confiança de grupos do sexo masculino e feminino com diferentes composições corporais de acordo com o CMO	61
Figura 9 - Vetores Clássicos médios de impedância e elipses de confiança de grupos do sexo masculino e feminino com diferentes composições corporais de acordo com a DMO	61
Figura 10 - Vetores Específicos médios de impedância e elipses de confiança de grupos do sexo masculino e feminino com diferentes composições corporais de acordo com o CMO	62
Figura 11 - Vetores Específicos médios de impedância e elipses de confiança de grupos do sexo masculino e feminino com diferentes composições corporais de acordo com a DMO.....	62

Figura 12 - Vetores Clássicos médios e distribuição das elipses de confiança dos grupos do sexo masculino e feminino com diferentes composições corporais de acordo com o percentil da DMO e CMO (população de referência Homens/ Mulheres, Caucasianos(as), com idade entre os 20 e os 69 anos, IMC entre 19 e 30, EUA (NHANES III), Valhalla Scientific). A tracejado: indivíduos abaixo ou no percentil 50 da DMO.	63
Figura 13 - Vetores Clássicos médios e distribuição das elipses de confiança de grupos do sexo masculino e feminino com diferentes composições corporais de acordo com o percentil da DMO e CMO (população de referência: Homens/ Mulheres, com idade entre os 16 e os 85 anos	64
Figura 14 - Correlação entre a Resistência (R), a R ajustada para a altura (R/H) e a R ajustada para a altura e área de secção transversal (Rsp) com o CMO e DMO.	103
Figura 15 - Correlação entre a Reactância (Xc), a Xc ajustada para a altura (Xc/H) e a Xc ajustada para a altura e área de secção transversal (Xcsp) com o CMO e DMO. ..	104

ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

2C – 2 Compartimentos

3C – 3 Compartimentos

4C – 4 Compartimentos

Ω – Ohms

β – Coeficiente de Regressão

ρ - Resistividade

%MG – Percentagem de Massa Gorda

A – Área

a.C. – antes de Cristo

ACT – Água Corporal Total

AEC – Água Extracelular

AF – Atividade Física

AIC – Água Intracelular

AnF – Ângulo de Fase

AST – Área de Secção Transversal

AT - Atividade Termogénica

BIA – Impedância Bioelétrica

BIS – Impedância Bioelétrica Espectral

BIVA - Análise Vetorial De Impedância Bioelétrica

BM-MSCs - Células-Tronco Mesenquimais derivadas da Medula Óssea

C – Circunferência

Co – Componente desconhecida

CEFMH - Comissão de Ética da Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa

CMO – Conteúdo Mineral Ósseo

CV – Coeficiente de Variação

DC – Densidade Corporal

DE – Dispêndio Energético

DMO – Densidade Mineral Óssea

DM2 - Diabetes *Mellitus* Tipo 2

DXA - Densitometria Radiológica de Dupla Energia

ETC – Efeito Térmico da Comida

EAT – Atividade relacionada ao exercício

EUA – Estados Unidos da América

f – Função matemática que relaciona o C ao Q

FEC – Fluídos Extracelulares

FIC – Fluídos Intracelulares

FMH - Faculdade de Motricidade Humana, da Universidade de Lisboa

FTO - Gene associado à massa gorda e obesidade

IE – Ingestão Energética

IMC - Índice De Massa Corporal

ISAK - Sociedade Internacional para o Avanço da Cinantropometria

keV - Quiloeletrovolt

kg – Quilograma

kHz - Quilohertz

L – Comprimento

Le – Lípidos Essenciais

Ln – Lípidos Não Essenciais

m – metros

min - minutos

MF-BIA – Impedância Bioelétrica de frequência múltipla

MG – Massa Gorda

MHz - Megahertz

MIG – Massa Isenta de Gordura

MIGO – Massa Isenta de Gordura e Osso

MO – Mineral Ósseo

MNO – Mineral Não Ósseo

NEAT – Atividade Termogénica Não Exercício

NHANES - *National Health and Nutrition Examination Survey*

OMS – Organização Mundial de Saúde

PC – Peso Corporal

Q – Quantidade medida

R – Resistência

R^2 – Coeficiente de Determinação

R_i – Resistência do fluido intracelular

R_e – Resistência do fluido extracelular

R_{sp} – Resistividade

sFRP-1 – Proteína Secretada relacionada com o Recetor Frizzled 1

TMB – Taxa Metabólica Basal

UF-BIA – Impedância Bioelétrica Unifrequência

VIF - Fator de Inflação da Variância

V - Volume

V_{total} - Volume Total

X_c – Reactância

X_{csp} - Reatividade

Z – Impedância

1. INTRODUÇÃO

Durante as suas carreiras desportivas, os atletas seguem um conjunto de recomendações nutricionais com o objetivo de manterem bons desempenhos desportivos (American Dietetic Association et al., 2009; Thomas, Erdman, & Burke, 2016). No entanto, após o término das suas carreiras, o baixo dispêndio energético (DE) pode não ser acompanhado por um decréscimo da ingestão energética (IE) (Stubbs et al., 2004). Como consequência, ocorre um estado de equilíbrio energético positivo e sucede-se um aumento da massa corporal (Hill, Wyatt, & Peters, 2012). De facto, a literatura tem vindo a referenciar um aumento da prevalência de obesidade entre os atletas em fase pós-carreira (Altowerqi, Abidin, & Zainuddin, 2020). Particularmente em Portugal, a prevalência de excesso de peso e obesidade em atletas em fase pós-carreira é elevada (~50%), sendo que a maioria destes atletas refere sentir dificuldades na gestão do peso após o término das suas carreiras (Batista & Soares, 2013; Carapinheira, Mendes, Carvalho, Torregrossa, & Travassos, 2018).

Os atletas, durante as suas carreiras desportivas, constroem uma massa óssea em diferentes regiões corporais e com taxas distintas, dependendo do tipo e da intensidade do treino (Liao, Li, Lu, Lai, & Wang, 2020). Na verdade, a informação sobre a saúde óssea nesta população não é consensual. Em alguns estudos, verifica-se que a Densidade Mineral Óssea (DMO) é elevada em atletas em fase pós-carreira, sendo o risco de fratura nesta população inferior comparativamente aos indivíduos sedentários (Düppe, Gfirdsell, Johnell, & Ornstein, 1996; Magnus K. Karlsson, 2007; Uzunca, Birtane, Durmus-Altun, & Ustun, 2005). Por outro lado, determinados estudos concluíram que estas vantagens diminuem com o avançar da idade (Magnus K. Karlsson, 2004; Magnusson, Lindén, Karlsson, Obrant, & Karlsson, 2001). Na verdade, a DMO adapta-se constantemente aos níveis de AF atuais (Tervo, Nordström, Neovius, & Nordström, 2008). Como tal, é fundamental a manutenção de um estilo de vida ativo com a finalidade de sustentar a saúde e reduzir o risco de doença (Melekoglu, Sezgin, Isin, & Türk, 2019). Também importa considerar que a relação da obesidade e da DMO é conflituosa, isto porque, apesar de a DMO ser maior na obesidade, esta pode não ser suficientemente aumentada para compensar os fatores negativos relativamente à saúde óssea (Gkastaris, Goulis, Potoupnis, & Anastasilakis, 2020).

Como resultado, verifica-se a necessidade de uma monitorização regular da DMO em atletas na transição para e durante a fase pós-carreira (Czeczuk et al., 2012; Meczekalski, Katulski, Czyzyk, & Podfigurna-Stopa, 2014). No entanto, as metodologias mais precisas para a avaliação da composição corporal e do estado de hidratação apresentam processos complexos (Buffa, Saragat, Cabras, Rinaldi, & Marini, 2013).

Uma vez que a Impedância Bioelétrica (BIA) é correntemente o método mais disponível e menos dispendioso, esta técnica, ao invés da Densitometria Radiológica De Dupla Energia (DXA), tem sido aplicada à maioria dos indivíduos. No entanto, alguns autores têm mostrado uma discordância significativa entre estes métodos, principalmente no que diz respeito ao Conteúdo Mineral Ósseo (CMO), cujo método de referência é a DXA (Crispilha et al., 2021). Como alternativa, a Análise Vetorial de Impedância Bioelétrica (BIVA) surge como um método interessante, através da utilização de uma abordagem empírica e sem a referência a equações preditivas ou suposições sobre as componentes corporais, providenciando uma avaliação semi-quantitativa da massa celular corporal e da água corporal (Buffa et al., 2013).

Assim, o objetivo deste trabalho é analisar a associação entre o CMO e a DMO com os parâmetros brutos da BIVA e comparar a BIVA Clássica e Específica em atletas em fase pós-carreira com excesso de peso e obesidade segundo o percentil de CMO e DMO (indivíduos colocados acima do percentil 50 *versus* indivíduos colocados abaixo e no percentil 50).

O presente trabalho compreende oito capítulos, iniciando-se pela introdução na qual se encontra um breve resumo do estado do conhecimento na área, questões ainda não solucionadas e os objetivos da dissertação. O capítulo 2 permite contextualizar a presente dissertação abordando: os níveis, as regras organizacionais e as técnicas de medição da composição corporal; os atletas em fase pós-carreira e a sua saúde óssea; bem como a relação entre a saúde óssea e a obesidade. Em terceiro lugar, no capítulo 3, surge a pertinência do estudo e os seus objetivos. O capítulo 4 é referente à metodologia empregue e descreve o tipo de estudo, a amostra utilizada, os procedimentos e instrumentos aplicados na recolha de dados, assim como o tratamento e abordagem estatística. De forma subsequente, o capítulo 5 apresenta os principais resultados obtidos. Os capítulos 6 e 7 comportam uma discussão fundamentada dos resultados e as conclusões do estudo, de modo respetivo. Por último, no capítulo 8 são apresentadas as

referências bibliográficas que fundamentam todo o trabalho de investigação e suportam a interpretação e discussão efetuadas sobre os resultados alcançados.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Composição Corporal

A composição corporal refere-se “aos componentes químicos ou físicos que, coletivamente, constituem a massa de um organismo, definida de forma sistemática” (Stewart, 2010). Desde os tempos antigos que se conjectura sobre a composição do corpo. De facto, os primeiros conceitos conhecidos sobre a composição corporal datam de 400 anos antes de Cristo (a.C.), na Grécia. Os Helenos começaram a assumir que o corpo humano e os seres vivos seriam constituídos pelos quatro elementos fundamentais do cosmos: o fogo, a terra, o ar e a água. Também Hipócrates acreditava que o corpo seria composto por quatro constituintes: o sangue, a linfa, a bÍlis negra e a bÍlis amarela. A partir desta conceção, Galeno manteve a ideia de equilíbrio ou homeostase, reinventada séculos depois por Claude Bernard, e cunhada cientificamente por Walter Canon em 1939 (Carnero, Alvero-Cruz, Giráldez, & Sardinha, 2015).

Atualmente, a composição corporal humana é conhecida como um ramo da biologia humana que estuda os vários compartimentos corporais e as suas relações ou regras quantitativas do estado estacionário (Zi-Mian Wang, Jr., & Heymsfield, 1992). Embora as primeiras descobertas sobre a composição corporal humana datem desde a antiguidade, o primeiro estadio de descoberta teve o seu início em 1850. Este último, que já atendeu às mudanças longitudinais na composição corporal, foi possível através da dissecação de cadáveres e da aplicação de métodos bioquímicos *in vivo*. O segundo estadio, ou estadio recente, ocorrido na segunda metade do século XX, foi marcado pela formulação dos primeiros modelos matemáticos para a estimativa dos componentes corporais e pelos avanços tecnológicos. Por último, o terceiro estadio, denominado de contemporâneo ou atual, centraliza-se na validação dos modelos clássicos de composição corporal em populações específicas, na análise dos determinantes genéticos (fenótipos e, mais recentemente, genótipos) da composição corporal, e no restabelecimento do estudo da composição corporal dinâmico (Carnero et al., 2015). Durante este período, o número de artigos publicados aumentou rapidamente. De facto, de acordo com as estatísticas da Pubmed, o número de artigos com títulos e/ou palavras-chave sobre a composição corporal teve um incremento anual de cerca de 20 nos anos de 1950 para 289 em 1990 (Zhu & Wang, 2011).

Na realidade, a avaliação da composição corporal é importante nas avaliações e intervenções nutricionais e médicas (Andreoli, Garaci, Cafarelli, & Guglielmi, 2016; Kuriyan, 2018). Assim, podemos assumir que o estudo desta temática detém um papel relevante na melhoria da saúde humana, na caracterização da natureza composicional e nas alterações resultantes dos vários estados de saúde e doença (Zhu & Wang, 2011).

O estudo da composição corporal, como podemos observar na Figura 1, é um ramo da biologia humana que interconecta três áreas: os níveis de composição corporal e as suas regras organizacionais; as técnicas de medição; e os fatores biológicos que influenciam a composição corporal (Zi-Mian Wang et al., 1992).

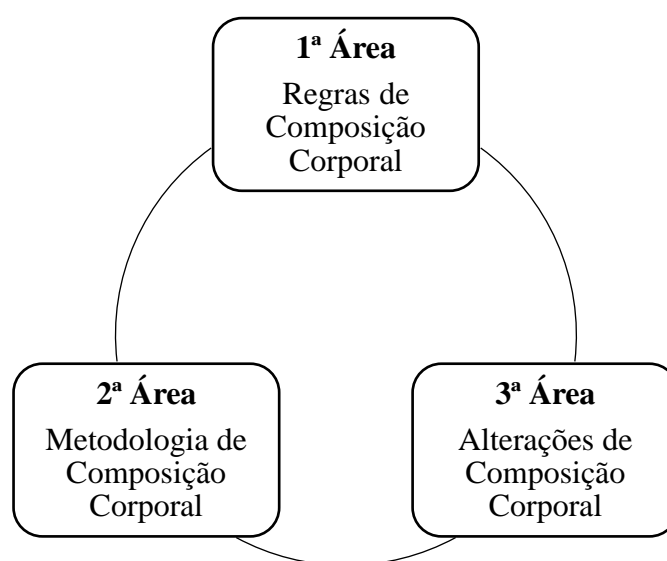


Figura 1 - As três áreas de investigação da Composição Corporal (Zi-Mian Wang et al., 1992).

Na primeira área, são propostos cinco níveis de complexidade crescentes nomeadamente: I, atómico; II, molecular; III, celular; IV, tecidular; e V, corpo inteiro (Zi-Mian Wang et al., 1992). A segunda área é representada pelo desenvolvimento de técnicas e métodos que investigam a composição corporal em cada um dos cinco níveis. Finalmente, a terceira área, aborda a influência de diferentes fatores genéticos, biológicos e ambientais na composição corporal (Zi-Mian Wang et al., 1992).

2.1.1. Regras da Composição Corporal

Com o propósito de organizar e sistematizar o estudo da composição corporal humana, Wang juntamente com os seus colaboradores (1992) propuseram um modelo a cinco

níveis. Neste modelo a massa corporal pode ser visualizada como cinco distintos níveis integrados de complexidade, acima supracitados (Zi-Mian Wang et al., 1992).

Um conceito fundamental quando se consideram os cinco níveis é que os componentes em níveis sucessivamente mais elevados de composição corporal são compostos por componentes de um nível inferior. Um exemplo clássico é o tecido adiposo, um componente do nível do sistema tecidual, que inclui componentes como: adipócitos do nível celular; lípidos do nível molecular; e carbono do nível atómico. Por conseguinte, a perda ou ganho de tecido adiposo reflete alterações nos componentes correspondentes aos níveis celular, molecular e atómico (Heymsfield, Wang, Baumgartner, & Ross, 1997).

Outro conceito essencial é a existência de estados estacionários de composição corporal. Durante períodos estáveis, tais como a manutenção do peso corporal e da homeostase dos fluidos, existem relações entre componentes que são constantes ou relativamente constantes. Por exemplo, embora a gordura e o tecido adiposo sejam componentes de níveis molecular e tecidual, respetivamente, existe uma relação razoavelmente estável entre os dois, tanto a nível intra-individual como a nível inter-individual (isto é, $\text{Massa Gorda (MG)} = \approx 0,80 \times \text{Massa do Tecido Adiposo}$) (Heymsfield et al., 1997). Identicamente, no mesmo nível existem proporções estáveis de componentes distintas como por exemplo, a nível molecular, o rácio médio da Água Corporal Total (ACT) da Massa Isenta de Gordura (MIG) é relativamente constante em indivíduos saudáveis (isto é, $\text{ACT/MIG} = 0,732$) (Zi-Mian Wang et al., 1992). Com efeito, este conceito é central para o desenvolvimento de métodos de composição corporal, permitindo que o investigador possa estimar uma componente desconhecida com base em relações de propriedade-componente ou componente-componente estáveis assumidas (Heymsfield et al., 1997).

2.1.1.1. Nível Atómico

O nível atómico é a base da análise da composição corporal e é o ponto de partida dos cinco níveis propostos (Zi-Mian Wang et al., 1992). Efetivamente, os “blocos de construção” fundamentais do corpo humano são os átomos ou elementos. Dos 106 elementos, cerca de 50 encontram-se no corpo humano e a sua distribuição nos vários tecidos e órgãos encontra-se bem documentada. Seis dos elementos, nomeadamente o oxigénio, carbono, hidrogénio, nitrogénio, cálcio e o fósforo, constituem mais de 98% do peso corporal (PC), sendo que o oxigénio constitui mais de 60% da massa corporal total.

Os restantes 44 elementos perfazem menos de 2% do PC (Zi-Mian Wang et al., 1992) (Heymsfield et al., 1997; Zi-Mian Wang et al., 1992).

Note-se que os elementos mantêm relações estáveis ou relativamente estáveis com outros elementos e também com componentes de níveis mais elevados. Alguns exemplos dessas associações em quilogramas (kg) são: enxofre/nitrogénio= 0,062 (kg/kg); e nitrogénio/proteína=0,16 (kg/kg). O conhecimento destas relações permite o desenvolvimento de modelos de composição corporal para estimar componentes desconhecidos (Heymsfield et al., 1997).

2.1.1.2. Nível Molecular

Os componentes da composição corporal a nível molecular são essenciais para a investigação em diversas áreas nutricionais, incluindo o metabolismo energético, proteico e lipídico, a homeostase mineral óssea, e o equilíbrio hídrico (Heymsfield et al., 1997). Os principais elementos são incorporados em moléculas, que diferem entre si na complexidade e no peso molecular, formando mais de 100.000 compostos químicos encontrados no corpo humano (Zi-Mian Wang et al., 1992). Os diferentes compostos químicos podem ser classificados em 5 grupos principais, nomeadamente em: lípidos, água, proteínas, hidratos de carbono (ou seja, glicogénio) e minerais (Heymsfield et al., 1997; Mattsson & Thomas, 2006). Na Tabela 1 encontra-se a composição corporal no nível molecular (II) para um indivíduo homem de referência com 70 kg.

Tabela 1 - Composição corporal no nível molecular (II) para um indivíduo homem de referência com 70 kg

Componente	Quantidade (kg)	Porcentagem do Peso Corporal (%)
Água		
Extracelular	18,0	26,0
Intracelular	24,0	34,0
Lípidos		
Não Essenciais	12,0	17,0
Essenciais	1,5	2,1
Proteína	10,6	15,0
Mineral	3,7	5,3
Total	69,8	99,4

*Glicogénio, normalmente cerca de 400 gramas, não é incluído na Informação do Homem de Referência.

2.1.1.2.1. Água

A água constitui a componente química do ser humano mais abundante, compreendendo 60% do PC total do homem de referência. Esta é misturada com eletrólitos *in vivo* e ligada ionicamente a proteínas, glicogénio e outros compostos químicos polares. A água distribui-se em dois compartimentos: o intracelular e o extracelular. Se por um lado, o compartimento intracelular representa 34% do PC, o compartimento extracelular representa 26% do PC (Snyder et al., 1984). Este último, inclui 5 subcompartimentos, especificamente: o intersticial, o plasma, o tecido conjuntivo, o osso e o trato gastrointestinal (Heymsfield et al., 1997). A água é também a componente mais abundante da MIG, representando 73,8% da mesma, considerando que a 36° Celsius a sua densidade é de 0,99371 g/cm³ (Brozek, Grande, Anderson, & Keys, 1963).

2.1.1.2.2. Proteína

No âmbito da composição corporal, o termo proteína, inclui quase todos os compostos que contêm nitrogénio, variando de aminoácidos simples a proteínas globulares (Zi-Mian Wang et al., 1992). A estequiometria representativa mais utilizada para as proteínas é C₁₀₀H₅₉N₂₆O₃₂S_{0.7}, apresentando uma densidade de 1,34 g/cm³ a 37° Celsius (Heymsfield et al., 1991). Paralelamente, a proteína é a segunda componente mais abundante da MIG, representando 19,4% desta (Brozek et al., 1963).

2.1.1.2.3. Glicogénio

Quanto ao glicogénio, este é a principal forma de armazenamento dos hidratos de carbono. O glicogénio localiza-se no citoplasma da maioria das células, distribuindo-se no músculo-esquelético e no fígado com 1,0% e 2,2%, respetivamente, do seu peso na forma de glicogénio (Heymsfield et al., 1997). A estequiometria representativa mais frequentemente empregue para o glicogénio é $(C_6H_{10}O_5)_x$, apresentando uma densidade de $1,52 \text{ g/cm}^3$ a 37° Celsius (Heymsfield et al., 1991).

2.1.1.2.4. Mineral

Os minerais representam cerca de 5% do PC em adultos saudáveis (Heymsfield et al., 1997). O termo mineral descreve uma categoria de compostos inorgânicos que possuem elementos metálicos (por exemplo, cálcio, sódio e potássio) e elementos não metálicos (por exemplo, oxigénio, fósforo e cloro) (Zi-Mian Wang et al., 1992). Os minerais são distribuídos em dois compartimentos principais: 82% em Mineral Ósseo (MO) e 18% em Mineral Não Ósseo (MNO) (Brozek et al., 1963; Heymsfield et al., 1997).

No que concerne à composição, o principal constituinte do MO é a hidroxiapatita de cálcio, com pequenas contribuições de sódio, potássio, magnésio e cloro, incluindo mais de 99% do cálcio corporal total e 86% de fósforo (Heymsfield et al., 1991). Quanto ao MNO, este inclui iões tais como o sódio, potássio, cloro, hidrogenofosfato e o bicarbonato (Heymsfield et al., 1997; Zi-Mian Wang et al., 1992).

Relativamente às densidades dos minerais, a do MO é inferior, apresentando um valor de $2,982 \text{ g/cm}^3$, a 36° Celsius . Por outro lado, a densidade do MNO varia de $3,07 \text{ g/cm}^3$ para o bicarbonato de potássio até $4,99 \text{ g/cm}^3$ para o cloreto de magnésio. Estas últimas, quando multiplicadas pelas suas contribuições relativas, resultam numa densidade geral de $3,317 \text{ g/cm}^3$ para o MNO. De modo consequente, o mineral total apresenta uma densidade de $3,038 \text{ g/cm}^3$ (Brozek et al., 1963).

2.1.1.2.5. Lípidos

Por último, os lípidos representam um grupo de compostos químicos que na maioria das espécies de mamíferos compreende uma grande fração do PC (Comizio et al., 1998). Efetivamente, este é um grupo diversificado e onipresente de compostos que detêm várias funções biológicas importantes, desde a atuação como componentes estruturais das membranas celulares, ao armazenamento de energia e à participação nas vias de

sinalização (Fahy, Cotter, Sud, & Subramaniam, 2011). A definição tradicional de lípido é referente aos compostos químicos insolúveis em água, porém bastante solúveis em solventes orgânicos, como o éter dietílico, o benzeno e o clorofórmio (Zi-Mian Wang et al., 1992).

Note-se que no nível molecular, os termos lípido e gordura são muitas vezes utilizados com o mesmo significado, embora estes se refiram a diferentes compartimentos. Na verdade, no adulto, cerca de 90% dos lípidos totais corporais são gordura. Esta última, consiste quase inteiramente em triglicéridos, que é classificado como um lípido simples. Assim, o termo gordura é sinónimo de triglicérido e, portanto, a gordura é claramente uma subcategoria do lípido total (Zi-Mian Wang et al., 1992).

No corpo humano são reconhecidos cerca de 50 lípidos distintos, podendo ser classificados em cinco subcategorias, designadamente em: lípidos simples (incluindo triglicéridos e ceras); lípidos compostos (por exemplo, fosfolípidos e esfingolípidos); esteroides; ácidos gordos; e terpenos (Zi-Mian Wang et al., 1992). Uma outra classificação alternativa consiste na divisão dos lípidos em dois grupos: aqueles que são essenciais (Le) para sustentar a vida; e aqueles que não são essenciais (Ln) (Comizio et al., 1998; Zi-Mian Wang et al., 1992). Por um lado, os Le representam 9% dos lípidos corporais, incluindo os fosfolípidos, esfingolípidos, colesterol e outras espécies de lípidos, e são necessários para manter a integridade celular, a fluidez e a função da membrana celular. Por outro lado, os Ln que representam 91% dos lípidos corporais, apresentam-se principalmente na forma de triglicéridos e fornecem isolamento térmico e um depósito de armazenamento de combustível mobilizável (Comizio et al., 1998; Snyder et al., 1984; Zi-Mian Wang et al., 1992). Relativamente à sua densidade, os lípidos apresentam uma densidade de $0,9007 \text{ g/cm}^3$ a 36° Celsius (Brozek et al., 1963).

2.1.1.3. Nível Celular

O corpo humano detém mais de 10^{18} células que são banhadas por fluídos extracelulares (FEC) e são suportadas por uma estrutura de sólidos extracelulares. A importância deste nível centra-se principalmente no compartimento intracelular protoplasmático, local onde ocorrem a maioria dos processos (Mattsson & Thomas, 2006). Deste modo, o modelo tradicional do nível celular consiste em três componentes: as células, o FEC, e os sólidos extracelulares (Heymsfield et al., 1997).

2.1.1.3.1. Células

As células possuem características de vida, incluindo o metabolismo, o crescimento e a reprodução. Embora as 10^{18} células do corpo humano adulto compartilhem muitas propriedades em comum, averiguam-se grandes variações no tamanho, forma, composição elementar e molecular, metabolismo e também na sua distribuição. As células são assim adaptadas às funções específicas, como o suporte, a condução elétrica e a contração. Com base nestas diferenças, quatro categorias de células podem ser definidas, nomeadamente: as conectivas, as epiteliais, as nervosas e as musculares (Zi-Mian Wang et al., 1992).

2.1.1.3.2. Fluídos extracelulares

Os FEC são um fluido não metabolizado circulante das células que atuam como intermediários nas trocas gasosas, na transferência de nutrientes e na excreção dos produtos metabólicos finais (Zi-Mian Wang et al., 1992). Quanto à sua constituição, os FEC possuem água extracelular (AEC), proteínas e minerais (Z. Wang et al., 2003). A água, que representa 94% da constituição dos FEC, é distribuída em dois compartimentos principais: o plasma no espaço intravascular e o líquido intersticial no espaço extravascular, que representam 5% e 20% do homem de referência, de modo respetivo (Zi-Mian Wang et al., 1992).

2.1.1.3.3. Sólidos Extracelulares

Os sólidos extracelulares consistem em compostos químicos orgânicos e inorgânicos. Especificamente no âmbito dos sólidos extracelulares orgânicos, existem três tipos de fibra: colágeno, reticular e elástica. Na sua constituição, as fibras de colágeno e reticulares apresentam proteínas de colágeno, enquanto que as fibras elásticas contêm proteínas de elastina (Zi-Mian Wang et al., 1992).

2.1.1.4. Nível Tecidual

Como supracitado, no nível celular o corpo humano é composto por células, FEC e sólidos extracelulares. Estes três componentes estão organizados em tecidos, órgãos, e sistemas, isto é, o quarto nível da composição corporal. Geralmente os tecidos contêm células que apresentam uma aparência, função e origem embrionária semelhantes (Zi-Mian Wang et al., 1992). No âmbito da composição corporal são três os tecidos específicos particularmente importantes, sendo eles: o tecido adiposo, o tecido muscular

e o tecido ósseo (Heymsfield et al., 1997; Zi-Mian Wang et al., 1992). Estes três tecidos perfazem um total de 75% do PC (Ayvaz & Çimen, 2011).

2.1.1.4.1. Tecido Adiposo

O tecido adiposo é um tipo de tecido conjuntivo formado por células de gordura (adipócitos) com fibras de colagénio e elásticas, fibroblastos e capilares (Zi-Mian Wang et al., 1992). Este tecido pode ser dividido em subcutâneo, visceral, medula amarela e subcomponentes intersticiais (Heymsfield et al., 1997).

2.1.1.4.2. Tecido Muscular

O tecido muscular é formado por músculos estriado, cardíaco e esquelético (Zi-Mian Wang et al., 1992). Peculiarmente nos músculos estriados, os tecidos são altamente organizados e convertem a energia química em trabalho físico, sendo fundamentais no suprimento das necessidades de oxigénio do corpo, na manutenção do equilíbrio metabólico e na locomoção (Shadrin, Khodabukus, & Bursac, 2016).

2.1.1.4.3. Tecido Ósseo

O tecido ósseo é uma forma especializada de tecido conetivo que consiste em células ósseas cercadas por uma matriz de fibras e pela substância fundamental. No osso em específico, a substância fundamental, constituída principalmente por hidroxapatita ($[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]_3\text{Ca}(\text{OH})$) e por uma pequena quantidade de carbonato de cálcio, é calcificada sendo responsável por aproximadamente 65% do peso do osso seco (Zi-Mian Wang et al., 1992).

2.1.1.5. Nível corpo inteiro

Os humanos e alguns primatas apresentam composições corporais semelhantes nos níveis atômicos, molecular, celular e tecidular. Porém, é, no nível corpo inteiro, que se distinguem os humanos dos primatas. De forma suplementar denote-se que, os diversos processos biológicos, genéticos e patológicos detêm um impacto não apenas nos primeiros quatro níveis como também no corpo humano como um todo (Zi-Mian Wang et al., 1992).

2.1.2. Questões Metodológicas na determinação de Composição Corporal

Novos estudos têm sido conduzidos no âmbito da área de investigação dedicada ao estudo e aplicação dos métodos utilizados para quantificar os componentes corporais desde o

nível atômico até ao nível do corpo inteiro. A área da metodologia da pesquisa da composição corporal estende-se desde há várias centenas de anos, mas os desenvolvimentos modernos foram iniciados no século passado (Heymsfield, Pietrobelli, Wang, & Saris, 2005).

Em primeira instância, duas grandes áreas da metodologia podem ser definidas, nomeadamente: os métodos *in vitro* e *in vivo*. A metodologia *in vitro* refere-se à medição de componentes em cadáveres inteiros ou em tecidos excisados (Zin-Mian Wang, Heshka, Jr, & Heymsfield, 2018). Por outro lado, os métodos *in vivo* que são utilizados para quantificar as componentes em humanos, podem ser sumarizados na seguinte fórmula:

$$Co = f(Q)$$

onde o Co representa a componente desconhecida, Q a quantidade medida, e f a função matemática que relaciona o C ao Q. Esta fórmula mostra que a componente desconhecida depende de duas partes desconhecidas mas conectadas, uma quantidade mensurável e uma função matemática (Zi-Mian Wang et al., 1992).

Na realidade, são vários os métodos que têm vindo a ser desenvolvidos para determinar a composição corporal com diferentes princípios físicos, utilizando diferentes modelos e suposições. Os vários métodos disponíveis para a avaliação da composição corporal são baseados nos modelos a 2 compartimentos (2C), a 3 compartimentos (3C), a 4 compartimentos (4C) ou nos modelos multi-compartimentais (Kuriyan, 2018).

2.1.2.1. Modelo a 2C

O modelo a 2C é o mais simples, baseando-se na premissa de que o corpo pode ser separado em dois compartimentos químicos distintos, nomeadamente, a MG e a MIG. A MG, que é definida como gordura quimicamente extraível, é anidra e detém uma densidade de 0,9007 g/cm³. Por outro lado, a MIG apresenta uma densidade de 1,1000 g/cm³ e possui 73,2% de água na sua constituição (Mattsson & Thomas, 2006; Withers et al., 1998).

Porém, um dos erros associados a este modelo está na validade das suposições previamente delineadas, uma vez que se baseiam na análise de somente três cadáveres do sexo masculino (Withers et al., 1998). Adicionalmente, quando as premissas que formam

a base do modelo a 2C não são cumpridas (por exemplo, 73,2% da MIG ser água), as estimativas de composição corporal tornam-se imprecisas (Lee & Gallagher, 2008). Efetivamente, algumas características como o sexo, a etnia, a idade ou situações de doença podem influenciar a mineralização óssea e o estado de hidratação. Posto isto, as suposições do modelo a 2C não devem ser aplicadas indistintamente a crianças, adultos ou a idosos (Alemán-Mateo et al., 2007).

No âmbito do modelo a 2C depara-se a densitometria (incluindo a pesagem hidrostática e a pletismografia) para a determinação da densidade corporal e a diluição isotópica para a determinação da ACT (Alemán-Mateo et al., 2007; Withers et al., 1998).

2.1.2.2. Modelo a 3C

O modelo a 3C divide a MIG em novos componentes que podem ser medidos *in vivo* (Mattsson & Thomas, 2006). Este modelo assume que a MIG comporta água e um componente anidro, composto por proteínas e minerais. Desta forma, os três compartimentos deste modelo são a água, a MG e a porção anidra da MIG (Borgonha, Kuriyan, Shetty, Ferro-luzzi, & Kurpad, 1997).

Por conseguinte, uma estimativa independente da ACT pode ser utilizada em conjunto com a hidrometria para chegar a um modelo de 3C do corpo, possibilitando uma medição da composição corporal com uma maior precisão (Borgonha et al., 1997). Posteriormente, a hidratação da MIG pode ser calculada com recurso aos valores medidos de forma independente, como a ACT (pela diluição do deutério), e os valores da MIG, obtidos através da densitometria (Borgonha et al., 1997).

O modelo a 3C permite o controlo da variação inter-individual da hidratação da MIG, sendo por isso um modelo mais válido relativamente ao modelo a 2C (Withers et al., 1998).

A DXA é considerada neste modelo, na medida em que separa a MIG em Massa Isenta de Gordura e Osso (MIGO) e MO, produzindo valores para a MG e para o MO. Deste modo, existe uma facilitação da medição *in vivo* de dois (ACT e MO) dos quatro (ACT, MO, MNO e proteína) componentes da MIG (Mattsson & Thomas, 2006; Withers et al., 1998). De facto, o PC obtido pela DXA resulta do somatório da MG, com o MO e o MIGO ($PC = MG + MO + MIGO$) (Heymsfield et al., 1997).

2.1.2.2.1. Densitometria Radiológica De Dupla Energia (DXA)

A DXA, cujos fundamentos se encontram nas propriedades específicas de atenuação dos raios-X, providencia a avaliação e a quantificação da MG, da MIGO e do CMO, sendo também possível a obtenção da DMO a partir da avaliação do CMO e da água (Bazzocchi, Ponti, Albisinni, Battista, & Guglielmi, 2016; Bonaccorsi et al., 2016; Messina et al., 2020; Nana, Slater, Stewart, & Burke, 2014). Deste modo, considera-se que a DXA é uma ferramenta relevante no estudo da composição corporal que sofre alterações ao longo do ciclo de vida assim como durante um processo de doença (Laskey & Phil, 1996; Messina et al., 2020).

Os princípios físicos básicos da DXA estão relacionados com a medição da transmissão e atenuação dos raios-X no corpo humano em dois níveis de energia diferentes (alto e baixo). A DXA gera um feixe de raios-X que consistem em partículas de fótons transportadas por energia eletromagnética. Com base na densidade e na espessura tecidual humana assim como na intensidade da energia emitida, a energia de radiação é atenuada (Bazzocchi et al., 2016; Messina et al., 2020).

Deste modo, os tecidos com uma elevada densidade (como o osso) atenuam o feixe de raios-X, ao contrário dos tecidos com uma baixa densidade (como os tecidos moles). Com base nestes pressupostos, a DXA produz o chamado valor R, que é a razão entre os coeficientes de atenuação nos dois níveis de energia distintos (Bazzocchi et al., 2016; Messina et al., 2020). Cada elemento tem um coeficiente de atenuação de massa característico entre 40 e 70 Quiloeletrovolt (keV) e um valor R. Os elementos com números atômicos elevados apresentam valores de R maiores, como é o caso do sódio, potássio, cloro, fósforo e do cálcio (Pietrobelli, Formica, Wang, & Heymsfield, 1996). Particularmente no osso, devido à quantidade significativa de minerais altamente atenuantes (cálcio e fósforo), este apresenta um coeficiente de atenuação de massa maior relativamente aos tecidos moles, cujos principais componentes são o oxigénio e o carbono (Pietrobelli et al., 1996).

Em suma, a DXA é considerada uma técnica de estado de arte na avaliação da composição corporal, providenciando a avaliação e a quantificação da MG, da MIGO e do CMO (Bazzocchi et al., 2016; Bonaccorsi et al., 2016; Messina et al., 2020; Nana et al., 2014). No que diz respeito à MG, a componente lipídica, na sua composição encontram-se predominantemente os triglicérideos (Messina et al., 2020; Pietrobelli et al., 1996).

Quanto à MIGO, esta representa a soma da água corporal, proteína, MNO e glicogénio (Heymsfield et al., 1997; Messina et al., 2020; Pietrobelli et al., 1996). Em terceiro lugar, o MO é principalmente constituído por hidroxiapatite (International Atomic Energy Agency, 2011).

Num *scan* corporal total, cerca de 40 a 45% dos pixéis contêm osso; sendo que a este nível, a DXA distingue somente o osso do tecido mole (MG + MIGO). Como tal, os pixéis que se encontram adjacentes ao osso, e que contêm apenas tecidos moles, são utilizados para calcular a quantidade exata de MG e MIGO (Messina et al., 2020).

Na Figura 2, encontra-se a metodologia da DXA de acordo com Wang e seus colaboradores (1992), a nível molecular.

Peso Corporal	Massa Isenta de Gordura	Massa Gorda	Massa Isenta de Gordura e Osso
		Água	
		Proteína	
		Glicogénio	
		Mineral Não Ósseo	
		Mineral Ósseo	

Figura 2 - DXA a 3 compartimentos (3C) do Modelo Molecular compreendendo a Massa Gorda, Massa Isenta de Gordura e Osso e o Mineral Ósseo, adaptado de Pietrobelli e seus colaboradores (1996).

A DXA apresenta um conjunto de vantagens. Em primeiro lugar, é uma medida de avaliação não-invasiva com pequenas doses de radiação, tornando-se segura para a realização de medições sequenciais (Bazzocchi et al., 2016; Buckinx et al., 2018; Nana et al., 2014). Na verdade, a radiação efetiva de uma única medição DXA de corpo inteiro (<10 microSieverts) é semelhante à radiação normal recebida durante um dia ao nível do mar (Shepherd, Ng, Sommer, & Heymsfield, 2017). Adicionalmente, quando comparada com outras técnicas imagiológicas, é uma medida de avaliação relativamente barata. Já

os erros associados à DXA são de baixa precisão, sendo, portanto, um instrumento sensível e específico, recomendado não só pelas *guidelines* Europeias como também Asiáticas (Aleixo et al., 2020; Buckinx et al., 2018). O processo de análise de dados é rápido, versátil e fácil de executar, com a vantagem de ser menos dependente de suposições subjacentes quando comparada com outros métodos (Committee on Military Nutrition Research Food and Nutrition Board Institute of Medicine, 1997). Por último, denote-se que a medição da massa mineral óssea total é bastante confiável e precisa (Committee on Military Nutrition Research Food and Nutrition Board Institute of Medicine, 1997).

Todavia, a DXA também apresenta desvantagens, particularmente, a existência de uma grande discrepância nas medições obtidas nos instrumentos dos três principais fabricantes de máquinas DXA. De igual modo, este instrumento surge como uma limitação para estudos epidemiológicos de grande escala não só pelo seu elevado custo associado, como também pelo facto de não ser um instrumento portátil. Adicionalmente, para que seja garantida uma correta avaliação corporal, os técnicos devem estar devidamente treinados. No que concerne aos algoritmos de estimativa da composição corporal dos fabricantes, estes são limitados, sendo necessárias equações de regressão específicas adequadas à população em causa. Nos indivíduos altos, com excesso de peso ou obesidade, a avaliação corporal através da DXA pode ficar comprometida, apesar de a flexibilidade geral para as avaliações de composição corporal nestes indivíduos ter melhorado substancialmente nos últimos 30 anos (Aleixo et al., 2020; Nana et al., 2014; Shepherd et al., 2017). Efetivamente, como forma de superar esta última limitação, recorreu-se aos valores de meio *scan* corporal, no entanto, poderão ainda assim ocorrer sobrestimações ou subestimações causadas pelo posicionamento imperfeito da linha central (Rothney, Brychta, Schaefer, Chen, & Skarulis, 2009; Tataranni, 1995).

Como supracitado, a DXA é um dos métodos mais precisos na quantificação do CMO (International Atomic Energy Agency, 2011). Sequencialmente, a literatura reforça que a DXA, ao ser rotineiramente utilizada na prática clínica para a medição do MO, permite o diagnóstico e o acompanhamento da osteoporose. Por conseguinte deve ser também realizada em indivíduos com excesso de peso ou com obesidade, a fim de realizar uma avaliação mais correta dos riscos da saúde óssea associados à adiposidade excessiva (Marra et al., 2019). Denote-se ainda que, especificamente nesta população, a avaliação da composição corporal através da DXA requer cautela na medida em que o aumento do

Índice de Massa Corporal (IMC) e da percentagem de MG (%MG) estão associados a erros de precisão, sendo estes superiores nos grupos em que o IMC e a gordura corporal são mais elevados (Knapp et al., 2015).

2.1.2.3. Modelo a 4C

Com o propósito de combater as limitações do modelo a 3C surge o modelo a 4C de análise da composição corporal. O modelo a 4C é, na teoria, mais válido comparativamente ao modelo a 3C na medida em que controla a variabilidade biológica (Withers et al., 1998). Este modelo, inclui a densidade corporal (DC), eliminando as suposições efetuadas pelo modelo a 2C e aprimora a precisão das estimativas da composição corporal (Alemán-Mateo et al., 2007).

O modelo a 4C mais amplamente utilizado divide a MIG em água, proteína e mineral (Mattsson & Thomas, 2006). Deste modo, o PC resulta do somatório da MG, juntamente com a água, minerais e o residual ($PC = MG + \text{água} + \text{minerais} + \text{residual}$ (o somatório de glicogénio e proteína)) (Heymsfield et al., 1997).

A medição deste modelo e dos compartimentos corporais associados, é realizada com o recurso a uma variedade de equipamentos. Entre eles destacam-se a DXA para estimar o CMO total corporal e a diluição de óxido de deutério para medir a ACT. Todavia, a Impedância Bioelétrica Espectral (BIS) demonstrou ser identicamente um instrumento válido na medição da ACT (Smith-Ryan et al., 2018).

Importa ainda considerar que, a medição primária poderá ter um erro de medição inerente, e consequentemente os erros cumulativos associados à medição de várias variáveis poderão afetar a precisão aprimorada do modelo a 4C (Heymsfield et al., 1997). No entanto, a propagação do erro de medição das determinações da DC, ACT e do MO poderá compensar o aumento na validade resultante do controlo da variabilidade biológica (Withers et al., 1998). Ainda assim, este modelo é bastante limitado em ambientes clínicos e em grandes estudos devido ao tempo despendido, aos custos associados e aos múltiplos equipamentos necessários para as várias medições (Kuriyan, 2018).

2.1.3. Impedância Bioelétrica (BIA)

A história da utilização da corrente elétrica com a finalidade de explorar tecidos e de obter informações sobre a sua composição e função, reconhece várias contribuições que são a base para a análise da BIA. A cronologia de pesquisa da BIA destaca uma sequência interessante de eventos que vão desde o desenvolvimento de modelos biofísicos, pervagando as aplicações na estimativa do fluxo sanguíneo pulsátil até à avaliação da composição corporal (H. Lukaski, 2013).

Os relatos das propriedades elétricas dos tecidos datam desde 1871. Estas propriedades foram posteriormente descritas para uma ampla faixa de frequências que incluíam não só tecidos saudáveis, como também tecidos que foram danificados ou que sofreram alterações após a morte (Kyle, Bosaeus, De Lorenzo, Deurenberg, Elia, et al., 2004).

Nos Estados Unidos da América (EUA), o trabalho pioneiro que relacionou as medições da BIA à função biológica foi conduzido em 1940 por Nyboer, que estudou as formas das ondas do pulso arterial e do fluxo sanguíneo pulsátil para os órgãos com recurso à pletismografia de impedância elétrica, delineando os princípios desta aplicação (H. C. Lukaski, Johnson, Bolonchuk, & Lykken, 1985; Organ, Bradham, Gore, & Lozier, 1994). Em 1962, Thomasset juntamente com os seus colaboradores conduziram os estudos originais em que utilizaram as medidas da BIA como um índice da ACT, recorrendo a duas agulhas inseridas por via subcutânea (Khalil, Mohktar, & Ibrahim, 2014; Kyle, Bosaeus, De Lorenzo, Deurenberg, Elia, et al., 2004; Kyle, Bosaeus, De Lorenzo, Deurenberg, Gómez, et al., 2004). Posteriormente, Nyboer e a sua equipa, introduziram pela primeira vez a técnica do eletrodo de quatro superfícies da BIA no quadricípite, a fim de realizar estimativas da MIG do corpo humano (Kyle, Bosaeus, De Lorenzo, Deurenberg, Elia, et al., 2004). Por outro lado, Hoffer demonstrou existir uma elevada correlação entre a impedância corporal total e o conteúdo de ACT, utilizando como método de referência as técnicas de diluição de trítio (Hoffer, Meador, & Simpson, 1969; Khalil et al., 2014). Já na década de 1970, foram estabelecidos os fundamentos da BIA, sendo demonstrado que a aplicação de medidas de impedância em diferentes frequências poderiam ser utilizadas para discriminar entre a AEC e a ACT (Kyle, Bosaeus, De Lorenzo, Deurenberg, Elia, et al., 2004; Van Marken Lichtenbelt WD, 2001). Entre o início da década de 60 e até meados da década 80, uma variedade de analisadores BIA unifrequência (UF-BIA) tornaram-se comercialmente disponíveis e, na década de 1990,

o mercado dispunha de vários analisadores de multifrequência (Dylke & Ward, 2021; Kyle, Bosaeus, De Lorenzo, Deurenberg, Elia, et al., 2004). Na verdade, estes últimos estão a substituir lentamente a UF-BIA (Van Marken Lichtenbelt WD, 2001). Atualmente, a BIA permite uma análise da composição corporal de quatro compartimentos, dividindo o corpo em: gordura, água, minerais e proteínas (Malbrain et al., 2014).

O corpo humano caracteriza-se por ser uma estrutura biológica composta por vários tecidos e matrizes de células, sendo que, não só os animais como também as plantas são seres vivos desenvolvidos com células e tecidos dispostos em três dimensões no espaço. Quaisquer células contêm fluidos intracelulares (FIC) e um envelope celular (uma membrana celular para as células animais e uma membrana e parece celular para as células vegetais) que estão suspensos nos FEC. Perante uma excitação elétrica alternada, as células e tecidos biológicos suspensas nos FEC produzem um complexo elétrico de impedância que é denominada de impedância bioelétrica (Bera, 2014).

A base física da BIA é a consciência de que o corpo humano é uma rede de resistores e capacitores. Enquanto os fluidos fisiológicos (FIC e FEC) se comportam como resistores, as membranas celulares atuam como capacitores. Por conseguinte, o corpo pode ser representado como um circuito equivalente de resistor-capacitor paralelo no qual a corrente alternada introduzida se divide em vias resistivas (fluidos e eletrólitos) e capacitivas (membranas celulares e interfaces de tecido) (C. Lukaski, 1987; H. C. Lukaski, Diaz, Talluri, & Nescolarde, 2019). A oposição à passagem da corrente elétrica está dependente da estrutura, composição e estado de saúde do tecido bem como da frequência aplicada ao sinal de corrente alternada. Deste modo, o estudo da análise de impedância do tecido biológico permite a obtenção de diversas informações sobre a anatomia e fisiologia dos tecidos (Bera, 2014).

Efetivamente, quando uma corrente elétrica é aplicada no corpo humano, esta flui através dos tecidos e órgãos que são condutores elétricos (Dylke & Ward, 2021). A condução é processada através do compartimento de água dos tecidos. Durante esta, os múltiplos componentes corporais oferecem resistência à corrente elétrica devido à composição dos fluidos e à natureza capacitiva das membranas celulares, uma vez que os fluidos corporais não são condutores perfeitos (Dylke & Ward, 2021). Esta oposição do corpo a uma corrente alternada é a impedância, convencionalmente designada por Z e consiste em dois

componentes: a Resistência (R) e a Reactância (X_c), medidos em Ohms (Ω) (Dylke & Ward, 2021; Norman, Stobäus, Pirlich, & Bosy-westphal, 2012).

A R é a medida de oposição ao fluxo de corrente elétrica pelo corpo devido à resistividade inerente dos fluidos do tecido, estando inversamente relacionada com o conteúdo de água (Dylke & Ward, 2021; Malbrain et al., 2014; Mialich, Sicchieri, & Junior, 2014). Por outras palavras, a R é a diminuição na voltagem e reflete a condutividade através de soluções iónicas (Khalil et al., 2014; Norman et al., 2012). A R do corpo humano à corrente elétrica, que é a mesma nos condutores não biológicos, é proporcional ao comprimento e inversamente proporcional à área de secção transversal (AST) do corpo (Kyle, Bosaeus, De Lorenzo, Deurenberg, Elia, et al., 2004). Deste modo, os indivíduos com uma estatura mais elevada apresentarão valores de R superiores. Segundo o princípio da BIA, o tecido magro, que possui água e eletrólitos, é um bom condutor, enquanto que a gordura, que não contém água é um mau condutor, apresentando por sua vez valores de R elevados (Kuriyan, 2018).

Em contraparte, a X_c reflete o atraso ao fluxo da corrente medido como uma mudança de fase refletindo as propriedades dielétricas, isto é, a capacitância, das membranas celulares e das interfaces do tecido (Khalil et al., 2014; Norman et al., 2012). Por outras palavras, é definida como a capacidade de um sistema ou circuito em armazenar uma carga elétrica (H. C. Lukaski et al., 2019). Esta capacidade irá aumentar ou diminuir dependendo da saúde celular e do número de células (Malbrain et al., 2014). Por conseguinte, uma maior quantidade de tecidos moles está diretamente relacionada com os valores de X_c .

Através de estímulos elétricos a frequências baixas (ou zero), a corrente não penetra na membrana celular, que atua como um isolante e, portanto, passa pelo FEC. Por outro lado, com uma corrente de frequência elevada, geralmente superior a 50 Quilohertz (kHz), a corrente flui tanto nos compartimentos extracelulares como nos compartimentos intracelulares (Kyle, Bosaeus, De Lorenzo, Deurenberg, Elia, et al., 2004; Ward, 2018).

A Z define-se pela raiz quadrada da soma dos quadrados da R e X_c (Baumgartner, Chumlea, & Roche, 1988). Esta, é a oposição dependente da frequência de um condutor ao fluxo de uma corrente elétrica alternada, resultante da R à corrente que flui através do tecido contendo água e eletrólitos, e da X_c , que está associada à capacitância da membrana celular (Dylke & Ward, 2021; Vincenzo, Marra, & Scalfi, 2019). Por outras

palavras, a Z representa a relação entre o tecido isolante e o tecido condutor, sendo o tecido isolante aquele que consiste em células que não conduzem sinais elétricos e o condutor, o que permite que a eletricidade flua facilmente (Malbrain et al., 2014).

O Ângulo de Fase (AnF) é definido como a transformação angular geométrica da razão entre a Xc e a R, podendo ser calculado diretamente como o seu arco tangente: $(Xc/R)180^\circ/\pi$. (Norman et al., 2012; Sardinha, 2018). Este descreve o deslocamento angular (diferença de fase) entre a tensão e as formas de onda sinusoidais da corrente, baseando-se nas alterações da R e da Xc à medida que a corrente alternada passa pelos tecidos avaliados (Vincenzo et al., 2019). Uma mudança de fase ocorre quando parte da corrente é armazenada nos compartimentos resistivos das membranas celulares (Gonzalez, Barbosa-silva, Bielemann, Gallagher, & Heymsfield, 2016). O AnF expressa a quantidade e a qualidade do tecido mole, sendo, portanto, um indicador da saúde celular onde valores mais elevados refletem uma maior celularidade, uma integridade da membrana celular superior e uma melhor função celular (Gonzalez et al., 2016). Nos indivíduos saudáveis, o AnF geralmente varia entre 5 e 7, mas nos atletas podem ser alcançados valores acima de 9,5 (Norman et al., 2012). Em acréscimo, um crescente corpo de pesquisa considera o AnF como um marcador do estado nutricional e igualmente um índice de prognóstico de morbidade e mortalidade (Gonzalez et al., 2016; Stagi, Iurtia, Rosales, Cabras, & Buffa, 2021). Apesar disso, a análise do AnF por si só, pode induzir em erros de interpretação, uma vez que não são consideradas as informações fornecidas pelo comprimento do vetor (Filho et al., 2020; Stagi et al., 2021).

Quanto aos aparelhos da BIA, estes operam com a suposição de que o corpo é um condutor isotrópico com um comprimento e uma AST uniforme, como se fosse um cilindro. No entanto, deve-se considerar que o corpo humano é composto por cinco cilindros (segmentos) interconectados: dois braços e pernas juntamente com um tronco, excluindo-se a cabeça. Uma vez que a R é inversamente proporcional à AST, as extremidades superior e inferior (que apresentam a menor AST) terão a maior influência nas medidas do R do corpo inteiro. Por outro lado, o tronco que possui aproximadamente 50% da massa corporal, irá contribuir com menos de 5 a 12% da R corporal total (Kushner, 1992; Ward, 2012). Se a R dos segmentos corporais for medida separadamente, o volume total é calculado a partir da seguinte equação (Ward, 2012):

$$V = \rho \frac{L^2}{R} \text{ (Equação 1)}$$

onde V é o Volume, ρ é a Resistividade, L é o Comprimento do condutor e R é a Resistência. Esta equação é a base das equações preditivas para os parâmetros da composição corporal baseados em medições de todo o corpo. Esta equação de predição pode ainda incorporar outras variáveis preditivas como o peso, idade e sexo numa regressão múltipla (Ward, 2012). Como a equação supramencionada é baseada nas propriedades elétricas de um cilindro, e uma vez que devemos considerar que o corpo humano é composto por cinco cilindros interconectados, o V total deverá ser calculado a partir da seguinte equação:

$$V_{\text{total}} = 2V_{\text{braço}} + 2V_{\text{perna}} + V_{\text{tronco}} \text{ (Equação 2)}$$

Substituindo a equação 1 produzimos a seguinte equação:

$$V_{\text{total}} = 2\rho \frac{L^2}{R}_{\text{braço}} + 2\rho \frac{L^2}{R}_{\text{perna}} + \rho \frac{L^2}{R}_{\text{tronco}} \text{ (Equação 3)}$$

Note-se que existe um problema ao calcular a composição corporal utilizando a Equação 3 isto porque, a ρ dos segmentos é considerada uma constante (Ward, 2012). Portanto, os erros ocorrem quando existem alterações na ρ do material condutor, variações na relação altura/ L e ainda na forma e segmentos corporais (Kyle, Bosaeus, De Lorenzo, Deurenberg, Elia, et al., 2004).

As medições da BIA por norma são executadas seguindo um protocolo padronizado. Os elétrodos podem ser fixados ao corpo de diversos modos, sendo a abordagem mais comum o modelo tetrapolar, que envolve a colocação de 2 elétrodos na mão e 2 elétrodos no pé. Outras abordagens alternativas requerem a colocação de elétrodos em várias disposições, dependendo do segmento ou local a ser medido (Mulasi, Kuchnia, Cole, & Earthman, 2015).

Esta padronização procedimental é essencial para que a BIA se expanda para além das aplicações de pesquisa na população saudável. O procedimento padronizado inclui: em primeira instância, previamente à realização da medição deve decorrer a certificação de que o indivíduo se absteve de um consumo excessivo de álcool e de substâncias diuréticas, que se encontra de preferência em jejum, mas não desidratado, que a sua bexiga está vazia, e que não realizou exercício físico há menos de 8 horas; as condições ambientais também deverão garantir uma temperatura corporal normal; deverão ser recolhidos os valores da altura, peso e idade para posterior utilização em equações de predição;

realização da limpeza com álcool das superfícies da pele no punho e no tornozelo, garantindo que estes locais estão isentos de quaisquer lesões; colocar com precisão os eletrodos, uma vez que o deslocamento de apenas 1,0 cm pode facilmente resultar numa alteração de 2% ou mais no valor da R; garantir que os eletrodos se encontram a uma distância mínima de 5 cm entre eles; especificamente nos indivíduos do sexo feminino, registar o ciclo menstrual; durante o exame, o indivíduo deverá manter-se deitado em decúbito dorsal durante pelo menos 10 minutos, com os braços separados do tronco em cerca de 30° e as pernas afastadas entre si a 45°; e confirmar a ausência de contato com a estrutura de metal da cama (Ellis et al., 1999; Kyle, Bosaeus, De Lorenzo, Deurenberg, Gómez, et al., 2004).

A evidência científica confirma que a BIA tem demonstrado ser um método válido na avaliação da composição corporal em múltiplas populações. Um estudo realizado por Vasold juntamente com os seus colaboradores (2019), demonstrou que após comparar os dispositivos com a plestismografia por deslocamento de ar, qualquer um dos três dispositivos de BIA (RJL, Omron, e Tanita BIA) seria apropriado na avaliação da MIG numa população adulta saudável (Vasold, Parks, Phelan, Pontifex, & Pivarnik, 2019). Similarmente um estudo realizado por Silva e seus colaboradores (2013), que reviu todas equações baseadas na BIA para a população pediátrica, concluiu que de um modo geral os modelos da BIA forneceram uma validade aceitável para serem utilizados em estudos epidemiológicos (Silva, Fields, & Sardinha, 2013). Recentemente, foram desenvolvidas equações preditivas com base na BIA que providenciam estimações válidas da MIG nos membros superiores e inferiores em atletas (Sardinha et al., 2020).

Por outro lado, uma revisão sobre a avaliação da composição corporal na população pediátrica com excesso de peso e obesidade, concluiu que as técnicas laboratoriais para avaliação da composição corporal não podem ser substituídas por métodos de campo, como a BIA, em análises transversais e longitudinais da composição corporal (Orsso et al., 2020). Especificamente no âmbito do MO, alguns autores têm demonstrado existirem divergências significativas na avaliação do CMO entre a BIA e a DXA (Crispillo et al., 2021; Fürstenberg & Davenport, 2011). De facto, o CMO é predito pela BIA com recurso a equações. Como consequência, a BIA produz uma estimativa menos consistente do CMO, sobrestimando-o, o que torna este método pouco preciso, enviesando a recomendação do mesmo na identificação de pacientes com grande risco de fratura

(Crispilha et al., 2021). Também nos indivíduos submetidos à hemodiálise, a BIA sobrestimou sistematicamente o CMO, com a justificação de o CMO ser derivado da MIG através de um algoritmo baseado numa população geral saudável (Fürstenberg & Davenport, 2011).

Apesar de a BIA ser um equipamento barato, portátil, sem exposição à radiação, facilmente operável, não invasivo e bastante reprodutível, esta também comporta algumas desvantagens (Aleixo et al., 2020; Elia, 2013; Kyle, Bosaeus, De Lorenzo, Deurenberg, Elia, et al., 2004). De facto, a BIA apresenta uma especificidade e sensibilidade reduzidas em relação aos métodos de referência, exhibe uma carência no que se refere aos protocolos pré-teste relativos à hidratação e ao exercício, e não é recomendada para algumas populações (Aleixo et al., 2020). Como supracitado, denota-se que um problema fundamental da BIA deve-se a esta ser um método preditivo e que inerentemente requer suposições com base nos valores médios da população (Ward, 2018).

Não obstante, estes problemas podem ser evitados recorrendo a abordagens alternativas para analisar os dados bioelétricos brutos (Stagi et al., 2021).

2.1.3.1. Número de Frequências

Atualmente, é possível identificar vários aparelhos de BIA que podem ser organizados conforme o número de frequências utilizadas e com a região corporal.

2.1.3.2. Impedância Bioelétrica de Unifrequência (UF-BIA)

Na década de 1970, quando as bases da BIA foram estabelecidas, uma variedade de analisadores UF-BIA tornou-se comercialmente disponível (Kyle, Bosaeus, De Lorenzo, et al., 2004). A UF-BIA é de facto o método mais antigo, embora seja frequentemente utilizado para estimar o volume dos compartimentos corporais, por norma com uma corrente de frequência única de 50 kHz (Park, Jo, & Lee, 2018; Salmi, 2003).

Esta corrente atravessa os elétrodos de superfície colocados na mão e no pé. Todavia, alguns instrumentos de BIA recorrem a outros locais, como elétrodos pé-a-pé ou mão-a-mão (Kyle, Bosaeus, De Lorenzo, Deurenberg, Elia, et al., 2004; Marra et al., 2019).

O volume de ACT é previsto através da ponderação das resistividades da AEC e da água intracelular (AIC) (Kyle, Bosaeus, De Lorenzo, Deurenberg, Elia, et al., 2004; Park et al., 2018). Por conseguinte, a MIG pode ser derivada partindo da suposição de que a MIG é

constantemente hidratada a 73,2%. Sequencialmente, a MG pode ser calculada através da subtração da MIG do PC. Como tal, supõe-se que a UF-BIA está inerentemente baseada no modelo a 2C ($PC = MIG + MG$) (Mulasi et al., 2015). No entanto, importa considerar que, os indivíduos com obesidade e com excesso de fluidos apresentam uma MIG com uma hidratação superior. De modo consequente, em algumas condições específicas, como aquelas em indivíduos com problemas cardíacos ou renais, as estimativas da MIG encontram-se sobrestimadas (Mulasi et al., 2015). Em síntese, a UF-BIA permite a avaliação de ACT e MIG para pessoas com uma hidratação normal, mas não é apropriada para condições de hidratação significativamente alteradas (Kyle, Bosaeus, De Lorenzo, Deurenberg, Elia, et al., 2004; Park et al., 2018). Ainda assim, importa considerar que existem equações desenvolvidas que estimam a MIG sem necessitar da suposição da hidratação (Langer et al., 2016; L. Wang, Hui, & Wong, 2014).

2.1.3.3. Impedância Bioelétrica de frequência múltipla (MF-BIA)

A BIA de frequência múltipla (MF-BIA) é uma tecnologia que mede o conteúdo de água corporal, separadamente em AIC e AEC, com recurso a frequências discretas (Park et al., 2018). É através da aplicação de mais de duas frequências, variando de frequências baixas (1 kHz) a altas (500 kHz), que é possível obter a medição dos seguintes compartimentos: ACT, AEC, AIC MIG e MG (Marra et al., 2019). A frequências baixas (1–5 kHz), a corrente elétrica não penetra na membrana celular e, portanto, presume-se que a corrente passe pelo FEC, refletindo unicamente a AEC. Por outro lado, a frequências mais elevadas (> 50 kHz), a corrente passa através das membranas celulares, medindo a AEC e a AIC. Com frequências inferiores a 5 kHz e superiores a 200 kHz, observa-se uma baixa reprodutibilidade, especialmente para a X_c a frequências reduzidas (Kyle, Bosaeus, De Lorenzo, Deurenberg, Elia, et al., 2004; Marra et al., 2019; Park et al., 2018). Apesar de na teoria, as frequências ótimas para os espaços extracelulares e de ACT serem zero e infinito, respetivamente, não é possível realizar medições confiáveis abaixo de cerca de 5 kHz ou acima de cerca de 1 Megahertz (MHz) (Hannan, Cowen, Plester, Fearon, & DeBeau, 1995).

Tal como acontece com UF-BIA, a MF-BIA recorre a modelos de regressão linear empíricos (Kyle, Bosaeus, De Lorenzo, Deurenberg, Elia, et al., 2004).

2.1.3.4. Impedância Bioelétrica Espectral (BIS)

Em terceiro lugar, a BIS analisa os dados da BIA obtidos com o recurso a uma larga banda de frequências, variando de 5 kHz a 1.000 kHz (Zhang et al., 2020). Este método baseia-se na determinação da R em frequências zero e infinitas, que são empregues para prever a AEC e a AIC, respetivamente, sendo preciso no que concerne à medição de fluidos (Marra et al., 2019; Park et al., 2018). A BIS difere na base teórica subjacente da UF-BIA e da MF-BIA uma vez que não requer o recurso a equações de predição populacionais específicas (Marra et al., 2019). Na verdade, a BIS baseia-se em modelos matemáticos, como o modelo de Cole-Cole e em equações, como a equação de Hanai (Kushner, 1992). Quando os dados são modelados num gráfico de Cole-Cole, um modelo de circuito fracionário amplamente utilizado em aplicações de BIA para avaliar o conteúdo e o estado de tecidos e fluidos biológico, a R do fluido intracelular (R_i) e do fluido extracelular (R_e) podem ser determinadas e, posteriormente, a AEC e a AIC podem ser diferenciadas (Bartok & Schoeller, 2004; Zhang et al., 2020). Já a equação de Hanai, baseia-se na conceção de que o corpo é composto por cilindros que são preenchidos com uma suspensão de elementos não condutores embutidos num meio condutor. O conhecimento da resistividade específica do meio condutivo permite o cálculo dos volumes parciais (condutivo e não condutivo) (Lorenzo, Andreoli, Matthie, & Withers, 1997; Weyer, Röthlingshöfer, Walter, & Leonhardt, 2012).

Em suma, a BIS tira proveito da natureza dependente da frequência do fluxo de corrente através do corpo, na medida em que a corrente a uma frequência baixa flui unicamente através do espaço AEC, enquanto a corrente a uma frequência alta flui em ambos os espaços (AIC e AEC) (Frank M. van der Sande, Wal-Visscher, Stuard, Moissl, & Kooman, 2020; Ward, 2018).

Um estudo realizado em mulheres em pós-parto com excesso de peso e obesidade, com o objetivo de validar a precisão e a exatidão da BIS (Xitron 4200) em relação à DXA e à água duplamente marcada, concluiu que a BIS apesar de subestimar a MG, estima com precisão e exatidão a massa muscular (Ellegård, Bertz, Winkvist, Bosaeus, & Brekke, 2016).

2.1.3.5. Região Corporal

No que diz respeito à localização das medições, estas podem ser realizadas em: todo o corpo, desde o punho até ao tornozelo; a nível segmentar, isto é, nos membros e/ou no

tronco; localmente através da medição de apenas uma pequena região do corpo, como por exemplo os gémeos (Ward, 2018).

A BIA de corpo inteiro considera o corpo como um cilindro. No entanto, esta apresenta limitações na medida em que a BIA assume que um corpo com braços, tronco e pernas é constituído por um único cilindro com uma condutividade uniforme para qualquer AST. Deste modo, os membros contribuem com mais de 90% da R corporal total, apesar de deter apenas 30% do volume total, enquanto que o tronco, que exhibe uma AST superior, contribui com apenas 10% da R corporal total (Park et al., 2018).

Já a BIA segmentar, que considera o corpo como sendo constituído por 5 cilindros, foi desenvolvida para superar as limitações da BIA de corpo inteiro. Esta é utilizada na determinação das alterações e na distribuição de fluidos em algumas doenças, sendo particularmente útil no fornecimento de informações sobre a acumulação de fluidos na região pulmonar ou abdominal (Kyle, Bosaeus, De Lorenzo, Deurenberg, Elia, et al., 2004).

Finalmente, através do recurso à BIA localizada, as medições são focadas em porções específicas do corpo (Brantlov et al., 2017).

2.1.3.6. Análise Vetorial De Impedância Bioelétrica (BIVA)

A BIVA representa um método alternativo interessante através da utilização de uma abordagem empírica, excluindo a referência a equações preditivas ou quaisquer suposições sobre as componentes corporais, mas providenciando uma avaliação semi-quantitativa da massa celular corporal e da água corporal (Buffa et al., 2013; H. C. Lukaski & Piccoli, 2012).

Efetivamente, a vantagem da BIVA quando comparada com a UF-BIA e MF-BIA, é a eliminação de múltiplas fontes de erro, particularmente: o erro de medição da BIA e a sua reprodutibilidade (1–2%); o erro da equação de regressão preditiva (> 10%); o erro técnico do método de referência (\approx 5%); as limitações do modelo de volume bioelétrico (ou seja, anisotropia de tecidos e geometria diferente de um cilindro); e a propagação da variabilidade biológica (H. Lukaski, 2013; H. Lukaski & Piccoli, 2012; Sun et al., 2003). Em contraste, a BIVA apenas depende da reprodutibilidade e precisão das medições bem como da variabilidade intra-individual na composição corporal, que apresenta uma baixa magnitude de erro (H. Lukaski, 2013; H. C. Lukaski et al., 2019).

De um modo factual, a BIVA surge para superar as limitações da BIA supramencionadas (Castizo-Olier, Irurtia, et al., 2018). Como resultado, o número de publicações da BIVA na prática clínica tem aumentado de um modo exponencial durante a última década (Castizo-Olier, Irurtia, et al., 2018).

Este método foi desenvolvido por Piccoli e os seus colaboradores e emprega os parâmetros R e Xc normalizados para a altura como um vetor bivariado no gráfico R-Xc (Piccoli, Rossi, Pillon, & Bucciante, 1994). Esta normalização, que representa o comprimento do condutor, fornece uma medida qualitativa do tecido mole que não depende do tamanho corporal (Marini, Succa, Coin, & Manzato, 2013; Norman et al., 2012). Os vetores bioelétricos podem ser analisados em relação a valores de referência (elipses de tolerância) ou em comparação intergrupar (elipses de confiança) (Piccoli et al., 1994). A posição das elipses no gráfico R/H-Xc/H varia de acordo com a idade da população, sexo, variação do IMC e da etnia (J. C. K. Wells, Williams, Quek, & Fewtrell, 2019).

A literatura reporta que esta técnica, relativamente nova, tem um potencial pouco explorado no desporto e exercício (Castizo-Olier, Irurtia, et al., 2018). Na verdade, para além de a BIVA ser recomendada para a avaliação e monitorização nutricional, esta apresenta a capacidade de avaliar o estado de hidratação, a massa celular corporal, bem como a integridade celular (Buffa, Mereu, Comandini, Ibanez, & Marini, 2014). Com base nas premissas previamente postuladas, a utilização dos parâmetros brutos auferiu atenção, tendo sido aplicada em variadas populações, em diferentes estádios do ciclo de vida (Buffa et al., 2014; Norman et al., 2012).

A BIVA apresenta duas abordagens: a BIVA Clássica e a BIVA Específica que diferem entre si na estandardização da R e da Xc (Stagi et al., 2021).

2.1.3.6.1. BIVA Clássica

No que diz respeito à BIVA Clássica, os ajustamentos são feitos exclusivamente para a altura de modo a reduzir o efeito do comprimento do condutor (Stagi et al., 2021). Assim, a posição e o comprimento do vetor providenciam informação sobre o estado de hidratação, massa celular corporal e integridade celular (H. Lukaski, 2013; Norman et al., 2012).

Por este motivo a BIVA Clássica não providencia estimativas quantitativas da massa tecidual ou do volume dos fluidos. Pelo contrário, a BIVA fornece uma avaliação qualitativa ou semi-quantitativa da massa celular corporal e da hidratação (Castizo-Olier, Iruiria, et al., 2018; H. C. Lukaski & Piccoli, 2012).

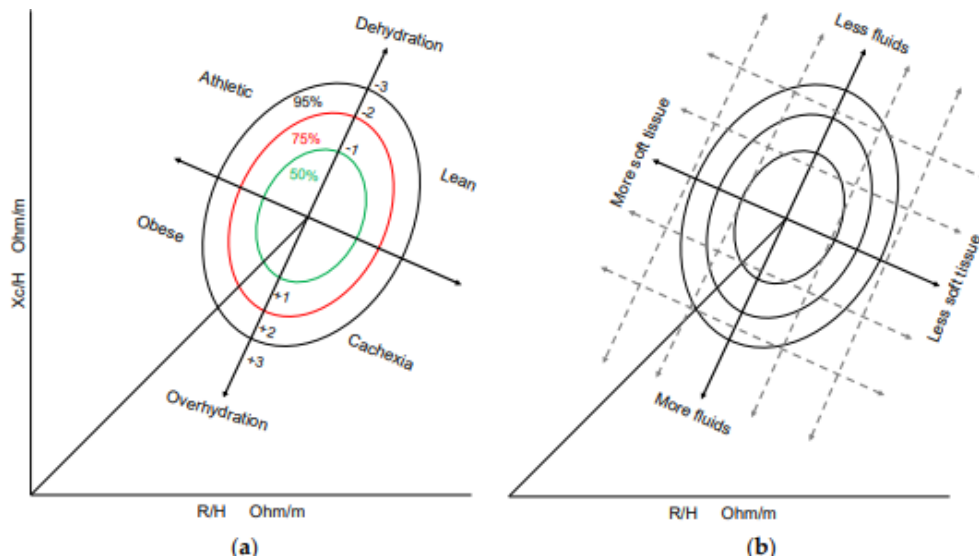


Figura 3 - Quadrantes estacionários da BIVA Clássica e migração do vetor de acordo com o estado de hidratação e o conteúdo dos tecidos moles. (a) Quadrantes de estado estacionário dos tecidos; (b) Migração do vetor BIVA. A composição corporal ótima está localizada no centro (elipses 50% e 75%). A migração do vetor para uma certa direção representa uma modificação no estado de hidratação ou do tecido mole do indivíduo (Limon-Miro et al., 2019).

Na Figura 3 (a) observa-se a divisão em quadrantes de acordo com o estado de hidratação (edema ou desidratação) e o conteúdo em tecidos moles (MIG e adiposidade) na população atlética, obesa, caquética e magra. Dentro das elipses de tolerância, os quadrantes superiores esquerdo e direito correspondem a indivíduos atléticos e magros respectivamente, enquanto os quadrantes inferiores esquerdo e direito referem-se seguidamente aos indivíduos obesos e caquéticos (Marini et al., 2020; Norman et al., 2012).

Na Figura 3 (b) verifica-se que a direção e o sentido do deslocamento do vetor poderão ser um indicador das alterações do estado de hidratação ou da quantidade de tecidos moles. As variações dos vetores bioelétricos ao longo do eixo principal das elipses de tolerância indicam alterações na ACT (desidratação em direção ao polo superior, e sobrecarga de fluidos em direção ao polo inferior). Assim, o comprimento vetorial indica o estado de hidratação desde uma sobre hidratação (menor R, menor vetor) para a exsicose (maior R, maior vetor). Já o eixo menor refere-se às variações da quantidade absoluta de

massa celular corporal, nomeadamente da MG e MIG (lado esquerdo: mais massa; lado direito: menos massa), ou seja, uma migração lateral do vetor devido a uma Xc baixa ou alta indica um menor ou maior massa dielétrica (membranas e interfaces tecidulares) dos tecidos moles; e às alterações da razão AEC/ AIC (valores mais baixos no lado esquerdo) (Marini et al., 2020; Norman et al., 2012; Piccoli, 2010). Resumidamente, o comprimento vetorial está inversamente relacionado com a ACT, e a combinação do comprimento e da sua direção, isto é o AnF, é um indicador do estado de hidratação tecidual (H. Lukaski, 2013). Deste modo, um deslocamento significativo do vetor poderá significar um agravamento da doença, situações de obesidade, casos de desnutrição relacionada com doença ou remoção de fluidos durante a diálise (Marra et al., 2019; Norman et al., 2012).

Note-se que a variabilidade do vetor de impedância é representada na distribuição bivariada normal com áreas de probabilidade elíticas (50%, 75%, e 95%) nas elipses de tolerância. Os vetores que se encontram dentro da elipse de tolerância de 50% apresentam uma hidratação normal. Já a extensão dos vetores de 51% a 75% e superior a 76% do percentil da faixa superior dos percentis indicam desidratação moderada e grave, respetivamente. Por outro lado, o encurtamento dos vetores das elipses de referência de 51% a 75% e superior a 76% do percentil da faixa inferior indicam um aumento da sobrecarga de fluidos (H. C. Lukaski et al., 2019).

No âmbito da BIVA Clássica, já foram efetuados alguns estudos, incluindo: avaliações das alterações da massa corporal após uma prova de Ultra-Trail (Castizo-Olier, Carrasco-Marginet, et al., 2018); na distinção de crianças com excesso de peso e obesidade (De-Mateo-Silleras et al., 2019); na avaliação da composição corporal em indivíduos com cancro (Callistus et al., 2019); na análise de atletas de natação sincronizada (Carrasco-marginet et al., 2017); e também na avaliação em atletas universitários de várias modalidades (Martins, Gobbo, Augusto, & Silva, 2021).

2.1.3.6.2. BIVA Específica

A BIVA Específica é uma técnica recentemente proposta como uma extensão ao procedimento idealizado por Piccoli e os seus colaboradores. Esta, difere da BIVA Clássica, na medida em que padroniza os valores bioelétricos não só para a altura como também para a AST, obtendo-se a resistividade e reatividade, a fim de reduzir o efeito do volume corporal (Buffa et al., 2013; Stagi et al., 2021; J. C. Wells, Williams, Ward, & Fewtrell, 2021).

A base teórica da BIVA é a lei de Ohm, segundo a qual a R é diretamente proporcional ao comprimento do condutor e inversamente proporcional à sua AST, assim: $R = \rho \cdot L / A$, onde a resistividade ($\rho = R \cdot A / L$), também denominada de R específica, não é influenciada pelo tamanho e forma (Buffa et al., 2014, 2013). Na BIVA Específica, os valores de R e X_c são multiplicados por um fator de correção (A/L), onde A representa a área e L o comprimento, de modo a obter uma estimativa da resistividade (ou R específica, R_{sp}) e reatividade (ou X_c específica, X_{csp}). A área é estimada como: $A = 0,45$ área do braço + $0,10$ área da cintura + $0,45$ área do gêmeo (m^2). Por sua vez, as áreas dos braços, cintura e gêmeos são calculadas através da fórmula $C^2/4\pi$, onde C (m) é a circunferência do respectivo segmento; e os coeficientes de multiplicação são escolhidos considerando o fluxo diferencial de corrente pelo corpo humano. O comprimento é estimado como $L = 1,1 H$, onde H é a altura corporal em metros e o coeficiente 1,1 baseia-se nas proporções antropométricas do corpo humano. A impedância (Z_{sp}) foi calculada como: $(R_{sp}^2 + X_{csp}^2)^{0.5}$. Em relação ao AnF, os seus valores não sofreram alterações. De forma a comparar a BIVA Específica com a Clássica, os valores bioelétricos específicos são multiplicados por um fator de 100 (Buffa et al., 2013).

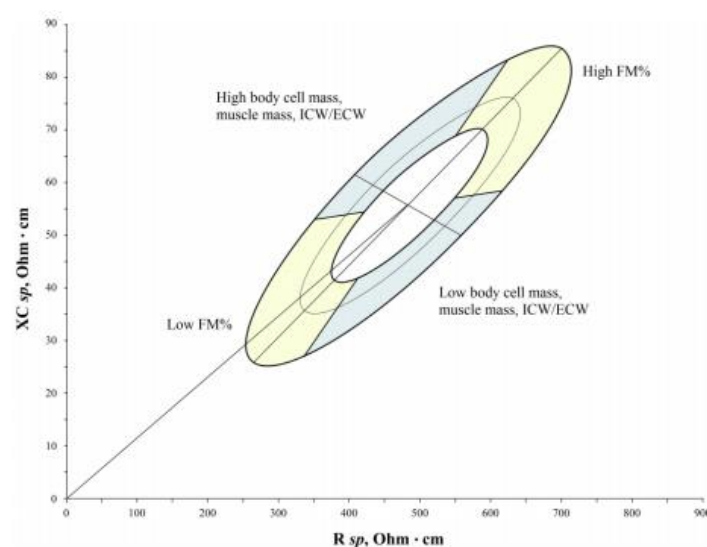


Figura 4 - Quadrantes estacionários da BIVA Específica. Retirado de: <http://www.specifibiva.com/data/guide.pdf>

Através da análise da Figura 4, observa-se que o eixo principal está relacionado com a variação da %MG (valores mais altos em direção ao polo superior), enquanto o eixo menor fornece as mesmas informações da BIVA Clássica (maior massa celular e um menor rácio AEC/AIC no lado esquerdo). Na realidade, o eixo menor está relacionado

principalmente com as variações do AnF, que não é afetado pela correção (Buffa et al., 2013; Marini et al., 2020).

A BIVA Específica tem vindo a ser aplicada em diversos contextos tais como: em idosos com demência; na diferenciação entre os indivíduos sarcopénicos e os obesos sarcopénicos; na população italiana idosa; e em atletas (Alicia et al., 2014; Marini et al., 2012; Saragat et al., 2014; Toselli, Marini, Latessa, Benedetti, & Campa, 2020). Recentemente, foi incluída numa investigação em atletas em fase pós-carreira, mostrando ser adequada para a deteção de alterações da MG durante um programa de intervenção com o objetivo de reduzir a gordura corporal (Campa, Matias, et al., 2021).

Ainda assim, a BIVA apresenta limitações. Algumas destas estão associadas à impossibilidade em estimar os parâmetros de composição corporal (MG, MIG, ACT), apesar de a posição do vetor poder ser avaliada dentro das elipses de tolerância desenhadas para cada população específica (Campa, Toselli, Mazzilli, & Coratella, 2021).

Quando analisadas as associações da BIVA Clássica e Específica com as técnicas de referência para a avaliação da composição corporal, concluiu-se que a BIVA Específica é mais precisa na avaliação da %MG, ao passo que não avalia corretamente a ACT, para o qual a BIVA Clássica parece ser um método adequado (Buffa et al., 2013; Marini et al., 2020; Toselli et al., 2020). Em idosos institucionalizados com demência, a BIVA Específica demonstrou ser mais efetiva comparativamente à BIVA Clássica no que concerne às variações das funcionalidades cognitivas e dos indicadores nutricionais (Alicia et al., 2014). Um outro estudo, realizado em idosos para avaliar a composição corporal, confirmou o desempenho da BIVA na avaliação da composição corporal, particularmente no que concerne à identificação das alterações de gordura corporal relacionadas com a idade (Marini et al., 2013). Uma revisão realizada por Buffa e seus colaboradores (2014) concluiu que, embora a BIVA Clássica seja capaz de discriminar o estado nutricional e as diferenças do estado de hidratação, esta deve ser utilizada com cautela para avaliar a composição corporal a 2C. Relativamente à BIVA Específica, esta mostra-se precisa na identificação das alterações na MG e MIG em adultos e idosos (Buffa et al., 2014). Por último, um estudo que investigou o estado nutricional de nonagenários concluiu que, comparativamente à BIVA Clássica, a BIVA Específica apresentou correlações mais fortes com os parâmetros antropométricos e com o risco de desnutrição (Bonaccorsi et al., 2016).

2.2. Atletas em Fase Pós-Carreira

A importância da AF para a saúde não é uma descoberta recente, tendo sido já evidenciado por antigos escritores chineses, indianos, gregos e romanos (Paffenbarger, Jr, & Lee, 1998). A literatura recente apresenta evidências irrefutáveis de que uma rotina da AF reduz o risco de mortalidade prematura, sendo uma estratégia preventiva primária e secundária eficaz para pelo menos 25 condições médicas crónicas (Warburton & Bredin, 2017).

Já no passado, Hipócrates e Galen observaram que se a falta de exercício seria prejudicial à saúde, também o esforço excessivo não seria prudente. De facto, embora estes médicos-filósofos enfatizassem a importância de um estilo de vida fisicamente ativo, eles tinham os atletas profissionais em baixo apreço, enfatizando a importância da moderação em tudo (Paffenbarger et al., 1998). Galen reconheceu os benefícios do exercício moderado e, promoveu-o para a saúde corporal e intelectual, no entanto, atribuiu pouca atenção aos excessos dos atletas profissionais (De-Mateo-Silleras et al., 2019).

Porém, após o término das suas carreiras desportivas, o estilo de vida dos atletas sofrem grandes alterações, adotando um estilo de vida sedentário, com uma redução significativa do nível de AF e da qualidade dos seus hábitos nutricionais relativamente aos não atletas (Reifsteck, Gill, Brooks, & The, 2013; Yao & Laurencelle, 2020). Por conseguinte, verifica-se um acréscimo significativo do peso após o término das suas carreiras desportivas, e como resultado, uma elevada prevalência de obesidade e excesso de peso (Altowerqi et al., 2020; Arliani et al., 2014). Na verdade, em Portugal, apesar de os atletas em fase pós-carreira adotarem tendencialmente um estilo de vida saudável, ainda assim, verifica-se uma elevada prevalência de excesso de peso e obesidade (Batista & Soares, 2013).

Este estilo de vida sedentário acarreta diversas consequências com efeitos adversos para a saúde (Lavie, Ozemek, Carbone, Katzmarzyk, & Blair, 2019). Especificamente para esta população, um estilo de vida sedentário é promotor de um aumento do IMC, da %MG, dos níveis de colesterol (LDL-C), dos triglicéridos e da pressão arterial diastólica, assim como da resistência à insulina (Emami et al., 2018). Ao nível da saúde mental, a prevalência de sintomas e distúrbios pode ser mais elevada comparativamente à população geral, variando desde 16% para a angústia até 26% para a ansiedade e/ou depressão (Gouttebarge et al., 2019).

No âmbito da saúde óssea, ao longo das suas carreiras desportivas, os atletas vão construindo a massa óssea em diferentes regiões corporais e com taxas díspares, dependendo do tipo e da intensidade do treino (Liao et al., 2020). No estudo de Düppe e seus colaboradores (1996), verificou-se que nos atletas de futebol na fase pós-carreira, a DMO é elevada relativamente à população geral, produzindo efeitos positivos para o risco de fratura (Düppe et al., 1996). No entanto, o estudo realizado por Karlsson e seus colaboradores (2019), demonstrou que esta vantagem desaparece após os 60 anos de idade e 35 anos posteriores ao abandono da atividade desportiva, resultando num risco de fratura semelhante aos indivíduos sedentários (Melekoglu et al., 2019). Note-se também que a relação da obesidade e da DMO é conflituosa isto porque, apesar de a DMO ser superior na obesidade, esta pode não ser suficientemente aumentada para compensar os fatores negativos (Gkastaris et al., 2020).

De modo a reverter esta situação, tem sido evidenciada a necessidade de aconselhamento sobre os hábitos alimentares e a importância da implementação de um programa de exercícios na população em causa, com o objetivo de manter um peso saudável ao longo da vida, evitando assim o risco de desenvolver síndrome metabólica, doenças cardiovasculares, distúrbios respiratórios do sono, osteoartrite e outros problemas (Griffin, Maxwell, & Griffin, 2016). Ainda assim, importa salientar que os atletas em fase pós-carreira são um grupo pouco estudado, e existe pouca evidência sobre este tópico (Campa, Matias, et al., 2021).

2.2.1. Obesidade

A Organização Mundial de Saúde (OMS) define excesso de peso e obesidade como uma acumulação anormal ou excessiva de gordura que compromete a saúde (World Health Organization 2021).

De acordo com as estimativas globais recentes da OMS, em 2016, mais de 1,9 bilhões de adultos com 18 ou mais anos apresentavam excesso de peso. Destes, mais de 650 milhões de adultos eram obesos. Em 2016, 39% dos adultos com 18 ou mais anos (39% dos homens e 40% das mulheres) apresentavam excesso de peso. De um modo geral, no ano de 2016, cerca de 13% da população adulta mundial (11% dos homens e 15% das mulheres) era obesa. Note-se que a prevalência mundial de obesidade quase triplicou entre 1975 e 2016 (World Health Organization 2021).

Em Portugal, no ano de 2015, as prevalências globais de excesso de peso e obesidade foram de 39,1% e 28,6%, correspondentemente. Se por um lado, a prevalência de excesso de peso foi superior no sexo masculino (45,5% *versus* 33,2%), por outro lado, a prevalência de obesidade foi maior no sexo feminino (32% *versus* 25%) (Barreto et al., 2017).

A obesidade pode ser explicada em termos de equilíbrio energético. A primeira lei da termodinâmica assegura que o PC não sofre alterações caso, se após um intervalo de tempo específico, a IE e o DE mantenham-se iguais (Hill et al., 2012). A IE é definida pela quantidade de energia produzida por um indivíduo através da ingestão alimentar, tipicamente medida em calorias (Heaney, 2013). Este conceito é influenciado por um conjunto de fatores ambientais que poderão contribuir para o aumento ou diminuição da IE, sendo eles: a disponibilidade, o tamanho da porção, a densidade energética, a palatabilidade, a variedade e a presença de sugestões alimentares (Zheng, Lenard, Shin, & Berthoud, 2009). Quanto ao DE, este é designado como a energia diária necessária ao organismo e é determinado pela soma de 3 componentes: a taxa metabólica basal (TMB), o efeito térmico da comida (ETC) e a atividade termogénica (AT) (Levine, 2002; Volp, Oliveira, Alves, Esteves, & Bressan, 2011). Esta última, é definida como o gasto de energia adicional acima da TMB e do ETC, que é necessário para a atividade (Chung et al., 2018). A AT pode ser separada em dois componentes: a atividade relacionada ao exercício (EAT) e a atividade termogénica não exercício (NEAT) (Levine, 2002).

Por conseguinte, a obesidade pode ser analisada em termos de balanço energético. Quando a IE excede o DE, ocorre um estado de equilíbrio energético positivo e como consequência há um aumento da massa corporal. Por outro lado, quando o DE excede a IE, advém um estado de balanço energético negativo, conduzindo a uma perda da massa corporal (Hill et al., 2012).

O IMC, um índice frequentemente utilizado para classificar o excesso de peso e a obesidade em adultos, é definido como o peso de um indivíduo em kg dividido pelo quadrado da altura em metros (kg/m^2). Especificamente para os adultos, a OMS define excesso de peso como um IMC igual ou superior a 25; e obesidade como um IMC igual ou superior a 30 (World Health Organization 2021). Apesar de o IMC fornecer a medida populacional mais útil de excesso de peso e obesidade para ambos os sexos independentemente da idade do indivíduo adulto, este pode não corresponder ao mesmo

grau de gordura nos diferentes indivíduos (World Health Organization 2021). De facto, além da baixa sensibilidade do IMC, existe uma vasta variabilidade inter-individual na %MG para qualquer valor de IMC, parcialmente atribuído à idade, sexo e etnia. Por exemplo, os indivíduos asiáticos apresentam uma %MG superior relativamente aos indivíduos caucasianos para o mesmo IMC (Chooi, Ding, & Magkos, 2019).

Efetivamente, o aumento do tecido adiposo tem um grande impacto em vários sistemas de órgãos, comprometendo a saúde (Blüher, 2019; Schetz et al., 2019). Na atualidade, o excesso de peso e a obesidade são responsáveis por uma mortalidade superior comparativamente à desnutrição (World Health Organization 2021).

Os indivíduos com excesso de peso ou obesidade apresentam um risco de saúde superior, nomeadamente para: doenças metabólicas (diabetes *mellitus* tipo 2 (DM2) e a doença hepática gordurosa); doenças cardiovasculares (hipertensão, enfarte do miocárdio e acidente vascular cerebral); doenças músculo-esqueléticas (osteoartrite); doença de Alzheimer; depressão; determinados tipos de cancros (mama, ovário, próstata, fígado, rim e cólon); doença renal crónica; apneia obstrutiva do sono; limitações físicas; e transtornos humorais. Consequentemente, a obesidade poderá reduzir a qualidade de vida, incrementar o desemprego, minorar a produtividade e promover algumas desvantagens sociais (Blüher, 2019; Schetz et al., 2019).

Apesar de os indivíduos com excesso de peso e obesidade despenderem mais energia na realização das atividades devido a um PC superior, o DE diário em atividades é inferior, o que representa um estilo de vida mais sedentário. Deste modo, é fundamental a promoção de um estilo de vida ativo, através de um incremento diário do DE, e consequentemente, a promoção da perda de peso (Carneiro et al., 2016).

2.2.1.1. Relação entre a Obesidade e Saúde Óssea

Atualmente a literatura evidencia que o osso é um tecido ativo, estando em constante diálogo com os outros órgãos e sistemas, apresentando também funções endócrinas e parácrinas com um envolvimento elementar no metabolismo, no envelhecimento e na saúde em geral (Gómez et al., 2020).

Relativamente à associação entre a obesidade e a saúde óssea, a literatura não é consensual uma vez que, esta relação está dependente de múltiplos fatores,

nomeadamente: a carga mecânica, o tipo de obesidade, a localização do tecido adiposo, o sexo, a idade e a localização óssea (Hou et al., 2020; Savvidis, Tournis, & Dede, 2018).

Por um lado, alguns estudos associam a obesidade a uma melhor saúde óssea, demonstrando que os indivíduos obesos apresentam uma DMO superior relativamente aos indivíduos com um peso saudável (Qiao et al., 2020). Com efeito, um IMC superior para além de resultar numa DMO maior, providencia melhores parâmetros da microarquitetura óssea (Savvidis et al., 2018; Walsh & Vilaca, 2017). No entanto, o facto de a DMO ser superior na obesidade, não significa que seja suficientemente aumentada para compensar os efeitos negativos (Gkastaris et al., 2020). Na verdade, em determinadas regiões corporais, especificamente nos membros inferiores com exclusão da anca, a obesidade confere um risco aumentado de osteoporose e de fraturas ósseas (Proietto, 2020). Ainda assim, a obesidade parece ser protetora em regiões como a anca e o punho (Angelo et al., 2018; Turcotte et al., 2021). Também a localização e a quantidade do tecido adiposo parecem influenciar a relação entre a obesidade e a saúde óssea (Gkastaris et al., 2020; Liu, Ilich, Brummel-smith, & Ghosh, 2014). No âmbito da localização, verifica-se que as ações sobre o tecido ósseo diferem entre a gordura abdominal visceral, metabolicamente mais ativa e possivelmente mais nefasta para a saúde óssea, e a gordura abdominal subcutânea (Gkastaris et al., 2020). Quanto à quantidade, num estudo realizado unicamente em indivíduos do sexo feminino, Liu e seus colaboradores (2014) concluíram que uma %MG inferior a 33% exhibe uma relação positiva com a DMO, ao passo que uma %MG superior a 33% está negativamente associada com a DMO (Liu et al., 2014). Na realidade, com base na classificação de obesidade para os indivíduos do sexo masculino e feminino, isto é, a 30% e 40% de %MG, respetivamente, a relação negativa entre a %MG e a DMO surge antes de atingir a obesidade (Dufour, Hannan, Murabito, Kiel, & McLean, 2013; Liu et al., 2014)

De acordo com a literatura recente, os quatro mecanismos que justificam os efeitos deletérios da obesidade no osso são: a substituição de osteoblastos por células de gordura na medula óssea; o aumento da inflamação presente na obesidade; as mutações no gene associado à MG e obesidade (FTO); e o aumento do metabolismo e a senescência acelerada em células-tronco do estroma (Proietto, 2020).

2.2.1.1.1. Substituição de osteoblastos por células de gordura na medula óssea

Em alguns contextos, verifica-se que o aumento de gordura na medula óssea poderá conduzir à perda óssea, estando também associada à osteoporose (Gkastaris et al., 2020; Proietto, 2020; Scheller, Cawthorn, Burr, Horowitz, & MacDougald, 2016). Uma vez que, tanto os adipócitos como os osteoblastos são derivados do mesmo precursor de células mesenquimais originárias da medula óssea, o aumento da diferenciação dos adipócitos irá reduzir a diferenciação dos osteoblastos, e vice-versa (Proietto, 2020; Shapses, Pop, & Wang, 2017). Também a leptina e as glicoproteínas da via de sinalização Wntless (Wnt) poderão ser preponderante neste processo (Proietto, 2020). A leptina, uma hormona produzida pelos adipócitos, quando presente em elevadas quantidades conduz à inibição da formação óssea (Cirmanová, Bayer, Stárka, & Zajíčková, 2008). Por outro lado, a via Wnt estimula a formação de osteoblastos e inibe a diferenciação dos adipócitos (Lademann, Tsourdi, Hofbauer, & Rauner, 2020; Proietto, 2020). Por sua vez, a proteína secretada relacionada com o recetor Frizzled 1 (sFRP-1), que se encontra aumentada nas células-tronco dos adipócitos, é um inibidor da via Wnt. Deste modo, em situações de obesidade modeada, a sFRP-1 encontra-se aumentada, reduzindo a formação de osteoblastos (Proietto, 2020).

2.2.1.1.2. Aumento da inflamação presente na obesidade

A adiponectina, uma proteína produzida pelo tecido adiposo, é vastamente reconhecida pelos seus efeitos antidiabéticos, anti-inflamatórios, anti-aterogénicos e cardio protetivos (Choi, Doss, & Kim, 2020; Cirmanová et al., 2008). Especificamente ao nível do MO, a adiponectina apresenta um papel favorável, na medida em que estimula a osteoblastogénese e suprime a osteoclastogénese (Gkastaris et al., 2020). No entanto, as concentrações de adiponectina estão inversamente correlacionadas com as concentrações de algumas citocinas (Gkastaris et al., 2020). Deste modo, a obesidade, um estado de inflamação de baixo grau associado a elevados níveis de citocinas, é caracterizada por uma concentração de adiponectina reduzida (Hu, Liang, & Spiegelman, 1996; Proietto, 2020). Por consequência, nos indivíduos obesos verifica-se um incremento da atividade dos osteoclastos que, por sua vez, promovem efeitos adversos na DMO (Proietto, 2020; Walsh & Vilaca, 2017).

2.2.1.1.3. Mutações no gene associado à massa gorda e obesidade (FTO)

São vários os genes que têm vindo a ser estudados devido à sua relação com a obesidade e excesso de peso, destacando-se o FTO (Guo et al., 2011; Kalantari, Doaei, Keshavarz-Mohammadi, Gholamalizadeh, & Pazan, 2016; Proietto, 2020). Este gene, uma RNA desmetilase, explica não só a variação da DMO, como também a osteoporose (Guo et al., 2011; Proietto, 2020). Uma vez que o FTO aumenta a estabilidade das proteínas codificadoras de mRNA que protegem os osteoblastos de danos genotóxicos, uma mutação neste gene está associada a um risco superior de osteoporose devido ao aumento da suscetibilidade dos osteoblastos à morte celular (Proietto, 2020).

2.2.1.1.4. Aumento do metabolismo e senescência acelerada em células-tronco do estroma

Em quarto lugar, um outro possível mecanismo explicativo da fragilidade óssea relacionada com a obesidade prende-se com o hipermetabolismo induzido pela obesidade e consequente senescência dos osteoblastos (Proietto, 2020). Após a análise das células-tronco mesenquimais derivadas da medula óssea (BM-MSCs), Tencerova e seus colaboradores (2019) descobriram que, os genes regulados positivamente na obesidade são os que se encontram envolvidos na diferenciação de células gordas e de osteoblastos, na organização da matriz extracelular e nos processos do sistema imunológico. Por outro lado, os genes associados ao metabolismo da glicose e à resposta à hipoxia foram regulados negativamente. Por conseguinte, a obesidade deverá estar relacionada com alterações nas BM-MSCs, exibindo uma capacidade glicolítica reduzida (Tencerova et al., 2019).

A obesidade, é igualmente caracterizada pela associação à resistência à insulina, isto é, à perda da resposta tecidual à insulina (Kahn & Flier, 2000; Ye, 2013). Não obstante, ao nível das BM-MSCs, a resistência à insulina é elevada, fazendo-se acompanhar por um incremento de células recetoras de insulina e leptina (Tencerova et al., 2019). Como consequência, estas alterações na medula óssea exigem uma grande capacidade glicolítica. Na insuficiência de resposta a esta necessidade, sucede-se a produção de espécies reativas de oxigénio, que posteriormente motivam uma exaustão das BM-MSC e um microambiente senescente, que se repercute na fragilidade óssea (Tencerova et al., 2019).

3. PERTINÊNCIA DO ESTUDO

Como supracitado, os atletas em fase pós-carreira são considerados um grupo parcamente estudado (Campa, Matias, et al., 2021). Durante as suas carreiras desportivas, dependendo do tipo e da intensidade do treino, os atletas vão construindo a sua massa óssea em diferentes regiões corporais e com taxas díspares (Liao et al., 2020). Após o término das suas carreiras desportivas, a informação sobre a saúde óssea nesta população não é consensual. Por um lado, alguns estudos indicam que a DMO é elevada nos atletas em fase pós-carreira, apresentando um risco de fratura inferior comparativamente aos indivíduos sedentários (Düppe et al., 1996; Nordström et al., 2005; Uzunca et al., 2005). No entanto, o estudo realizado por Karlsson (2004), demonstrou que esta vantagem desaparece após os 60 anos e/ou 35 anos depois do abandono da atividade desportiva, apresentando assim um risco de fratura semelhante à população sedentária (Magnus K. Karlsson, 2004). Na verdade, Tervo e seus colaboradores (2008) sugeriram que, a DMO adapta-se constantemente aos níveis de AF atuais. Por conseguinte, o aumento da DMO devido a um prévio nível elevado de AF pode não prevenir a osteoporose nos anos subsequentes (Tervo et al., 2008). De modo consequente, existe a necessidade de uma monitorização regular da DMO em atletas na transição para e durante a fase pós-carreira (Czeczuk et al., 2012; Meczekalski et al., 2014).

Todavia, nem todos os atletas em fase pós-carreira presentes nos estudos supracitados apresentavam excesso de peso ou obesidade. Note-se que em Portugal, a prevalência de excesso de peso/obesidade em atletas em fase pós-carreira é elevada (~50%), sendo que a maioria destes atletas refere sentir dificuldades na gestão do peso na fase pós-carreira (Batista & Soares, 2013; Carapinha et al., 2018). Perante tal, aquando da avaliação da saúde óssea nesta população, importa ainda considerar que a relação da obesidade e da DMO pode ser bidirecional, isto porque, apesar de a DMO ser superior na obesidade, esta pode não ser suficientemente aumentada para compensar os fatores negativos relacionados com a saúde óssea (Gkastaris et al., 2020; López-gómez, Pérez, & Luis, 2016).

Embora a DXA seja reconhecida pelo seu valor tecnológico na avaliação da DMO, esta técnica é frequentemente limitada por mérito do elevado custo de examinação associado (Antunes et al., 2020). Uma vez que a BIA é atualmente um dos métodos mais disponíveis e também um dos menos dispendiosos, esta técnica, tem sido aplicada para avaliar o CMO

e a DMO (Crispilha et al., 2021; Liao et al., 2020; Patil, Patkar, Mandlik, & Kuswarkar, 2012). Porém, para a medição destes componentes, alguns autores concluem que existem divergências significativas entre a BIA e a DXA, principalmente para o CMO (Fürstenberg & Davenport, 2011; Liao et al., 2020; Stone, Wingo, Nickerson, & Esco, 2018). Efetivamente, a utilização da BIA para a determinação do MO é questionável, dado que a BIA provavelmente estima o CMO como uma fração fixa de MIG (Laforgia, Gunn, & Withers, 2008; Nickerson & Tinsley, 2018). Em acréscimo, particularmente nos indivíduos com obesidade, as pequenas variações de hidratação ao nível dos tecidos moles poderão conduzir a erros na medição da composição corporal através da BIA (Savastano et al., 2010).

Para superar as limitações da BIA, a análise dos dados bioelétricos brutos surge como uma alternativa (Stagi et al., 2021; Ward, 2018). Recentemente, Antunes e seus colaboradores (2020), reportaram existir uma associação entre o AnF e a DMO na população idosas, enfatizando a sua relevante aplicação no que concerne à monitorização da saúde óssea (Antunes et al., 2020). Por outro lado, Martins e seus colaboradores (2021), mostraram existir uma associação entre o AnF e a DMO, mas apenas no sexo feminino (Martins, Moraes, & Silva, 2021). Todavia, note-se que a análise exclusiva do AnF pode conduzir a erros de interpretação, na medida em que este não considera as informações fornecidas pelo comprimento vetorial (Stagi et al., 2021).

Por conseguinte, a BIVA surge como um método alternativo pertinente, com o recurso a uma abordagem empírica e sem a referência a equações preditivas ou suposições sobre as componentes corporais (Buffa et al., 2013). Esta abordagem, desenvolvida por Piccoli e os seus colaboradores (1994), emprega os parâmetros da R e Xc normalizados para a altura como um vetor bivariado no gráfico R-Xc (Piccoli et al., 1994). Recentemente, este método de avaliação foi utilizado na população em causa para investigar a capacidade da BIVA Específica em identificar alterações da %MG após um programa de intervenção no estilo de vida em atletas em fase pós-carreira, concluindo que a BIVA Específica é um método adequado para a avaliação da %MG após o programa (Campa, Matias, et al., 2021). No entanto, até à data, apenas um estudo, realizado na população idosa, investigou a relação entre os parâmetros da BIVA e a DMO total corporal e segmentar (Lu, Lai, Lee, Chu, & Hsieh, 2021). Este último, concluiu que o AnF, R/H e Xc/H estão relacionados com os níveis de DMO total corporal, da coluna e do fémur proximal. Consequentemente, com o desenvolvimento crescente de dispositivos de BIA de utilização doméstica que

fornece estimativas da BIVA, o estudo evidencia que esta poderá ser uma ferramenta útil na auto monitorização para a osteoporose (Lu et al., 2021).

Note-se ainda que, os valores de referência mais avançados e abrangentes para a composição corporal, que são específicos para idade, sexo e etnia, foram publicados como percentis derivados dos dados do estudo do *National Health and Nutrition Examination Survey* (NHANES) dos EUA (Kelly, Wilson, & Heymsfield, 2009). Portanto, estes dados são úteis para a avaliação individual do estado da saúde óssea, permitindo a deteção de algumas irregularidades (Kalkwarf et al., 2007; Kelly et al., 2009).

Assim, a presente dissertação pretende analisar a associação entre o CMO e a DMO com os parâmetros da BIVA; e comparar a BIVA Clássica e Específica em atletas em fase pós-carreira com excesso de peso e obesidade colocados acima e abaixo ou no percentil 50 para o CMO e DMO.

4.. METODOLOGIA

O conteúdo deste capítulo visa descrever o tipo de estudo, a amostra utilizada, os procedimentos e instrumentos aplicados na recolha de dados, assim como o tratamento e abordagem estatística.

4.1. Desenho do Estudo e Amostra

O Champ4life é um programa de intervenção do estilo de vida controlado e randomizado com a duração de 1 ano, realizado em atletas de elite em fase pós-carreira, que apresentassem excesso de peso ou obesidade e fossem considerados inativos. A intervenção e todas as avaliações tiveram lugar no Laboratório de Exercício e Saúde da Faculdade de Motricidade Humana, da Universidade de Lisboa (FMH – UL). O estudo foi aprovado pela Comissão de Ética da Faculdade de Cinética Humana da Universidade de Lisboa (Lisboa, Portugal) (Número de Aprovação CEFMH: 16/2016) e foi conduzido de acordo com a Declaração de Helsínquia para os estudos humanos da Associação Médica Mundial. O projeto Champ4life foi registado em www.clinicaltrials.gov (clinicaltrials.gov ID: NCT03031951) e uma descrição detalhada de toda a intervenção e dos resultados associados ao mesmo está disponível para consulta nos respetivos artigos (Silva et al., 2021; Silva, Nunes, Matias, Jesus, & Francisco, 2020).

4.1.1. Recrutamento

Um total de 94 participantes de ambos os sexos foram selecionados. O Comité Olímpico Português, o Sindicato dos Jogadores Profissionais de Futebol e várias federações desportivas nacionais (Federação Portuguesa de Judo, Federação Portuguesa de Natação, Federação Portuguesa de Futebol e Federação Portuguesa de Luta Livre) foram parceiros deste projeto, recrutando antigos atletas de alto nível através do contacto direto via e-mail, base de dados e fontes de referência fornecidas por essas instituições. A propaganda nos media foi também planeada. Foram criados folhetos e pósteres com um resumo dos objetivos, procedimentos e medidas do estudo para garantir a segurança do participante. Após uma triagem inicial da *web* e/ou telefone para determinar a elegibilidade dos potenciais participantes, uma sessão de orientação foi agendada para oferecer informações detalhadas sobre o estudo, incluindo o número e o tipo de avaliações, a duração e a natureza do treino físico e o tempo necessário para concluir o estudo. Uma pergunta de “sim” ou “não” foi utilizada para avaliar se os participantes não apresentavam nenhum critério de exclusão. Em seguida, os participantes com potencial experienciaram

sessões iniciais permitindo-lhes determinar se estes seriam capazes de incluir o estudo na sua rotina semanal. Todas estas sessões iniciais foram concluídas dentro de um período de 1 semana para satisfazer os critérios de elegibilidade. Durante a triagem, os membros da equipa verificaram se os participantes elegíveis respeitavam as *guidelines* de AF de saúde pública. Posteriormente, foi obtido o consentimento informado de cada participante para participar no estudo.

4.1.2. Critérios de Inclusão

Os Critérios de Inclusão do estudo foram:

- Ser um(a) atleta de elite em fase pós-carreira, i.e., que tenham representado Portugal pelo menos uma vez num campeonato desportivo a nível internacional, ou que tenham sido jogadores de futebol profissionais na primeira divisão dos campeonatos;
- Apresentar uma idade compreendida entre os 18 e os 65 anos;
- Ser fisicamente inativo (< 20 min/dia de AF de intensidade vigorosa pelo menos 3 dias por semana ou < 30 min/dia de AF de intensidade moderada pelo menos 5 dias por semana) (World Health Organization, 2020);
- Apresentar excesso de peso ou obesidade ($IMC \geq 25 \text{ kg/m}^2$) (Semlitsch, Stigler, Jeitler, Horvath, & Siebenhofer, 2019);
- Encontrar-se disponível para participar em sessões educativas na FMH-UL;
- Estar pronto(a) a modificar a sua dieta para perder peso corporal.

4.1.3. Critérios de Exclusão

Os Critérios de Exclusão do estudo foram:

- Não completar as sessões iniciais para a ingestão alimentar e AF;
- Ser incapaz ou estar relutante em dar o consentimento informado ou comunicar com a equipa do local de estudo;
- Incapacidade em concluir o estudo dentro do prazo designado devido a planos de mudança fora da área de estudo;
- Inabilidade de comparecimento às visitas, às medições de avaliação e às sessões de intervenção na FMH-UL;
- Esquizofrenia, transtorno bipolar ou outros transtornos psicóticos;
- Transtornos alimentares;

- Depressão *major*;
- Consumo atual de mais de 14 bebidas alcoólicas por semana ou abuso de outras substâncias, e/ou estar em tratamento agudo atual ou num programa de reabilitação por abuso de álcool/substâncias;
- Situação de gravidez ou planeamento para engravidar nos próximos 8 meses;
- Ter estado grávida nos últimos 6 meses ou a amamentar;
- Possuir um historial de cirurgia de perda de peso ou quaisquer procedimentos de lipoaspiração;
- Participação atual num programa de perda de peso;
- Uma perda de peso superior a 4,5 kg nos últimos 3 meses;
- Uso atual de medicamentos para a perda de peso;
- Distúrbios da tireoide;
- Diabetes e doenças cardiovasculares;
- Outras condições médicas conhecidas por afetar a homeostase do equilíbrio energético;
- Tratamento sistémico com corticosteroides (o ganho de peso associado aos esteroides pode interferir nos objetivos da intervenção, mas o uso de terapia de reposição hormonal ou anticoncepcionais orais não conduzem à exclusão).

4.2. Procedimentos

4.2.1. Avaliação da Composição Corporal

4.2.1.1. Antropometria

Com os indivíduos em roupa interior e descalços, foi realizada a medição do peso e da altura com um estadiómetro (Seca, Hamburgo, Alemanha) com uma aproximação de 0,01 kg e 0,1 cm, respetivamente. O IMC foi calculado pela fórmula $[\text{peso}(\text{kg})/\text{altura}^2(\text{m}^2)]$, tendo sido utilizados os pontos de corte da OMS (Semlitsch et al., 2019). As circunferências do braço, coxa e gêmeo foram avaliadas por um técnico credenciado pela ISAK (Sociedade Internacional para o Avanço da Cinantropometria).

4.2.1.2. Densitometria Radiológica de Dupla Energia (DXA)

A MG, o CMO e a MIG total foram estimados através da utilização da DXA (Hologic Explorer-W, Waltham, MA, EUA). Como tal, de acordo com os procedimentos do fabricante, os participantes, em jejum, permaneceram imóveis na posição de decúbito

dorsal na DXA durante cerca de 7 minutos. Esta última, mediu a atenuação dos raios-X pulsados entre 70 e 140 kV em sincronização com a frequência de linha para cada *pixel* da imagem digitalizada (Matias, Silva, et al., 2012; Silva et al., 2020). De acordo com o protocolo descrito pelo fabricante, o *scan* é realizado com um espectro de seis campos de acrílico e alumínio de várias espessuras com propriedades de absorção conhecidas, servindo como um padrão externo para a análise dos diferentes componentes tecidulares (Santos et al., 2014). Anteriormente, no laboratório de Exercício e Saúde, com base num teste-reteste em 10 participantes, o coeficiente de variação (CV) do laboratório para a MG, MIG e CMO foi de 1,7%, 0,8% e 1,3% respetivamente (Santos et al., 2013).

4.2.1.3. Análise de Impedância Bioelétrica (BIA)

Antes da medição, os indivíduos foram instruídos a deitarem-se em decúbito dorsal com as pernas abduzidos num ângulo de 45° e os membros superiores distanciados a 30° do tronco. Após um jejum noturno e um esvaziamento da bexiga, foi realizado o teste com uma duração de 10 minutos (Campa, Matias, et al., 2021). Previamente às medições, realizadas em marquesas isoladas de condutores elétricos, foi realizada a limpeza com álcool dos locais onde se colocaram os elétrodos (Marini et al., 2020). Estes últimos foram colocados no dorso do pé, no tornozelo, no punho e na mão direitos. Posteriormente, foi introduzida uma corrente alternada de 240 μ ARMS a 50 kHz no elétrodo distal de cada par (elétrodo de origem) e a queda de tensão no corpo foi medida utilizando o elétrodo proximal (elétrodo detetor). Os elétrodos aplicados foram os de baixa impedância (25,74 Ω) (AKERN-BIATRODES/ OELB) (Silva et al., 2020).

Seguidamente, os parâmetros bioelétricos brutos foram obtidos utilizando a BIS (modelo 4200B, Xitron Technologies, San Diego, CA, EUA) a uma frequência de 50 kHz, como previamente postado (Matias, Santos, Fields, Sardinha, & Silva, 2012). Já os Índex de R, Xc e Z foram calculados através da divisão do quadrado da altura, em cm², com a R, Xc e Z, de modo respetivo, em Ohm (Dung, Fusch, Armbrust, Jochum, & Fusch, 2007). O dispositivo foi calibrado utilizando o circuito padrão fornecido pelo fabricante que possui uma impedância conhecida ($R_z \frac{1}{4} 380$ Ohm, 1% de precisão; e $X_c \frac{1}{4} 47$ Ohm, 1% de precisão). Com base no teste-reteste efetuado previamente no laboratório de Exercício e Saúde, o CV para a R, Xc e AnF foi de 0,3%, 0,8% e 0,9%, respetivamente (Campa, Matias, et al., 2021).

4.2.1.3.1. Análise Vetorial de Impedância Bioelétrica (BIVA)

A análise da BIVA foi empregue recorrendo à abordagem da BIVA Clássica e Específica. No âmbito da análise da BIVA Clássica, os parâmetros bioelétricos R e Xc foram estandardizados para a altura dos participantes, através da multiplicação dos mesmos pela altura. Por outro lado, na BIVA Específica foi realizada a multiplicação da R e Xc por um fator de correção (A/L), onde A representa a AST estimada (ou seja, $0,45 \times$ área do braço + $0,10 \times$ área da cintura + $0,45 \times$ área do gêmeo) e o L é referente ao comprimento do condutor ($1,1 \times$ altura). O comprimento do vetor foi calculado como a hipotenusa dos valores de impedância individuais. Já o AnF foi calculado como o arco-tangente de $Xc/R \times 180^\circ/\pi$ (Khalil et al., 2014). Após o ajuste da R e Xc de acordo com a abordagem de BIVA Específica, o comprimento do vetor tornou-se informativo para o %MG (alongamento do vetor = aumento de %MG; encurtamento do vetor = redução de %MG) e o deslocamento lateral do vetor respondeu às mudanças no AnF (Campa, Matias, et al., 2021).

4.2.2. Análise Estatística

A análise estatística foi realizada empregando o IBM SPSS versão 24,0 (IBM, Chicago, IL, USA). A normalidade foi avaliada utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov. Para a caracterização da amostra foram aplicadas medidas de estatística descritiva, em que os dados foram apresentados como média \pm desvio-padrão. Com o objetivo de determinar as diferenças estatísticas entre os sexos recorreu-se ao teste t-Student. A significância estatística utilizada foi $p < 0,05$ (teste bilateral).

Para estudar a relação entre o CMO e a DMO com as variáveis bioelétricas foi utilizado o teste de Correlação de Pearson. De modo a compreender estas associações entre a DMO e o CMO (variáveis dependentes) com os valores bioelétricos estandardizados para a altura (R/H e Xc/H), foram realizadas análises de regressão múltiplas ajustadas para a MIG e idade, uma vez que estas últimas podem interferir na associação entre as variáveis bioelétricas e as variáveis dependentes (Demontiero, Vidal, & Duque, 2012; Garvey, Shi, Gona, Troped, & Camhi, 2021; Tang et al., 2020). Caso mais de uma variável fosse um preditor no modelo, um fator de inflação da variância (VIF) para cada variável independente foi calculado para avaliar a multicolinearidade, na qual os valores abaixo de 5 relacionam-se com a ausência de problemas de multicolinearidade.

De seguida, procedeu-se à distribuição de cada indivíduo para o percentil de CMO e DMO considerando o sexo, idade e etnia de cada indivíduo, de acordo com o NHANES (Kelly et al., 2009). Subsequentemente, de modo a comparar os indivíduos segundo os seus percentis, foram considerados dois grupos: os indivíduos que se encontravam acima do percentil 50 e os indivíduos que se encontravam no percentil 50 ou abaixo do mesmo para o CMO e para a DMO. Posteriormente, foram realizados os testes t-Student e teste de Hotelling para amostras independentes para determinar, respetivamente, as diferenças nos parâmetros bioelétricos da BIVA e nos vetores Clássicos e Específicos médios entre os dois grupos. Foram igualmente analisados os vetores clássicos médios e a distribuição das elipses de confiança com diferentes composições corporais de acordo com o percentil do CMO e a DMO, tendo como população de referência os/as Homens/Mulheres dos EUA, Caucasianos(as), com idade entre os 20 e os 69 anos, e um IMC compreendido entre 19 e 30 kg/m², assim como os/as Homens/ Mulheres de Itália, com idade entre os 16 e os 85 anos, e um IMC assimilado entre os 16 e 31 kg/m².

5. RESULTADOS

5.1. Caracterização da Amostra

Dos 94 atletas recrutados, 2 foram excluídos devido a ausência de dados.

As principais características dos 92 atletas em fase pós-carreira incluídos na amostra, separados de acordo com o sexo estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Características demográficas e da composição corporal dos atletas em fase pós-carreira, divididas por sexo

Variáveis	Sexo Masculino		Sexo Feminino		p-value
	N= 60		N=32		
	\bar{x}	dp	\bar{x}	dp	
Idade (anos)	42,8	9,9	43,5	8,7	,762
Altura (cm)	175,7	6,9	163,0	6,3	<0,001
Peso (kg)	96,3	14,6	81,7	12,2	<0,001
IMC (kg/m²)	31,1	4,1	30,7	3,9	,633
Crf Geminal (cm)	41,7	2,9	40,7	3,4	,114
Crf Braço (cm)	36,4	3,7	34,6	3,4	,023
Crf da Cintura (cm)	104,5	10,5	99,6	9,8	,034
R (Ohm)	443,0	46,7	561,6	69,7	<0,001
Xc (Ohm)	55,3	7,1	61,2	7,4	<0,001
Z (Ohm)	446,5	47,0	565,3	70,7	<0,001
AnF (°)	7,1	0,7	6,2	0,6	<0,001
IR (cm².Ohm⁻¹)	48,0	6,5	70,6	9,1	<0,001
IXc (cm².Ohm⁻¹)	441,7	71,2	567,8	82,2	<0,001
IZ (cm².Ohm⁻¹)	47,7	6,4	70,0	9,0	<0,001
R/H (Ohm/m)	252,5	28,8	344,6	41,6	<0,001
Xc/H (Ohm/m)	31,5	4,2	37,6	4,7	<0,001
Z/H (Ohm/m)	254,5	29,0	346,9	42,2	<0,001
Rsp (Ohm.cm)	435,7	50,5	520,4	63,3	<0,001
Xcsp (Ohm.cm)	54,4	7,6	56,8	7,8	,156
Zsp (Ohm.cm)	439,2	50,8	523,8	64,1	<0,001
MG (kg)	27,6	7,6	33,7	6,9	<0,001
MG (%)	28,7	5,3	41,7	3,8	<0,001
MIG (kg)	67,2	9,0	46,7	6,0	<0,001
CMO (g)	3021,2	435,0	2315,9	336,3	<0,001
DMO (g/cm³)	1,3	0,1	1,2	0,1	<0,001

Abreviaturas: \bar{x} : Média; dp: Desvio-Padrão; IMC, Índice de Massa Corporal; Crf: Circunferência; R, Resistência; Xc, Reactância; Z, Impedância; AnF, Ângulo de Fase; H, Altura; sp: Específica; MG, Massa Gorda; MIG, Massa Isenta de Gordura; CMO, Conteúdo Mineral Ósseo; DMO, Densidade Mineral Óssea

Por conseguinte, a amostra é constituída por um total de 92 participantes, dos quais 60 são do sexo masculino (idade = $42,8 \pm 9,9$; IMC = $31,1 \pm 4,1$ kg/m²) e 32 do sexo feminino (idade = $43,5 \pm 8,7$; IMC = $30,7 \pm 3,9$ kg/m²).

Comparando os dois grupos (feminino *versus* masculino), o sexo masculino apresentou valores mais elevados para a estatura ($p < 0,001$), para a circunferência do braço ($p = 0,023$) e para a cintura (acima da crista ilíaca) ($p = 0,034$). No que diz respeito às medidas de composição corporal obtidas pela DXA, verifica-se que a amostra masculina apresentou valores superiores de MIG, CMO e DMO ($p < 0,001$), no entanto, o valor médio de MG (kg e %) foi inferior. Por último, verificam-se valores superiores de R, R/H, Rsp, Xc, Xc/H, Xsp, Z e Zsp para o sexo feminino, porém o AnF foi superior no sexo masculino ($p < 0,001$).

5.2. Relação entre o Conteúdo Mineral Ósseo (CMO) e a Densidade Mineral Óssea (DMO) com as variáveis bioelétricas

As Figuras 14 e 15 (em anexo) apresentam a correlação entre os valores bioelétricos brutos (R, Xc), os valores bioelétricos ajustados para a altura (R/H, Xc/H), e os valores bioelétricos ajustados para a altura e para a AST (Rsp, Xcsp) com o CMO e a DMO. As correlações, que foram estatisticamente significativas ($p < 0,001$), apresentaram associações negativas, destacando-se a associação forte entre o CMO e a R/H ($r = - 0,705$) e a DMO e com a R/H ($r = - 0,552$).

Os diagramas apresentados na Figura 5 demonstram as correlações positivas moderadas existentes entre o AnF com o CMO ($r = 0,513$; $p < 0,001$) e com a DMO ($r = 0,461$; $p < 0,001$) para a amostra total.

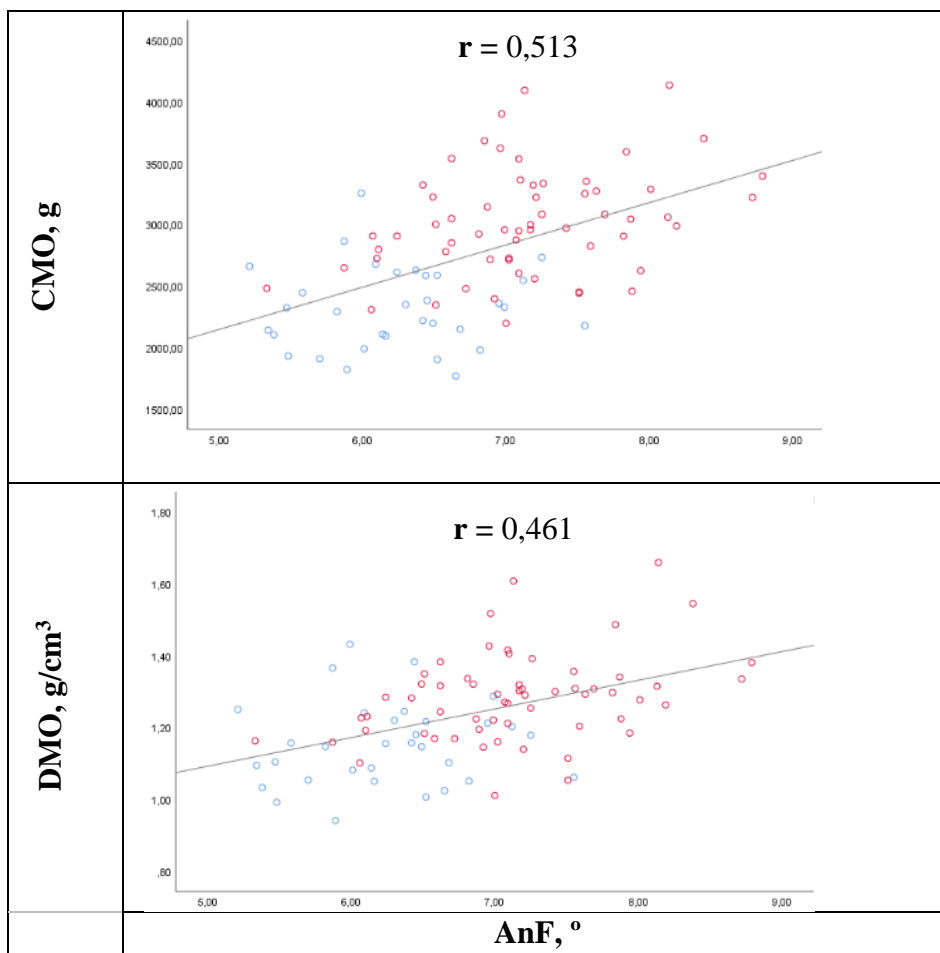


Figura 5 - Correlação entre o Ângulo de Fase e o CMO e DMO. Azul: indivíduos do sexo masculino; Rosa: indivíduos do sexo feminino

Abreviaturas: AnF, Ângulo de Fase; CMO, Conteúdo Mineral Ósseo; DMO, Densidade Mineral Óssea; g, gramas; cm, centímetros.

Na Tabela 3 encontram-se expressas as correlações de Pearson entre os parâmetros bioelétricos com o CMO e a DMO, discriminadas de acordo com o sexo.

Tabela 3 - Correlações entre as variáveis bioelétricas e o Mineral Ósseo (Conteúdo Mineral Ósseo e Densidade Mineral Óssea)

	Sexo Masculino		Sexo Feminino	
	CMO	DMO	CMO	DMO
R (Ohm)	-0,222	-0,210	-0,222	-0,242
Xc (Ohm)	0,086	0,113	-0,191	-0,158
Z (Ohm)	-0,218	-0,206	-0,222	-0,244
IR (cm².Ohm⁻¹)	0,597**	0,455**	0,537**	0,343
IXc (cm².Ohm⁻¹)	0,310*	0,166	0,442**	0,241
IZ (cm².Ohm⁻¹)	0,594**	0,452**	0,537**	0,344
R/H (Ohm/m)	-0,457**	-0,365**	-0,400*	-0,313
Xc/H (Ohm/m)	-0,130	-0,037	-0,349*	-0,209
Z/H (Ohm/m)	-,453**	-0,362**	-0,399*	-0,314
AnF (°)	0,327*	0,352**	0,036	0,102
Rsp (Ohm.cm)	-0,058	-0,113	0,099	0,005
Xcsp (Ohm.cm)	0,196	0,165	0,121	0,074
Zsp (Ohm.cm)	-0,054	-0,110	0,096	0,002

Legenda: * p < 0,05; ** p < 0,01

Abreviaturas: R, Resistência; Xc, Reactância; Z, Impedância; H, Altura; sp: Específica; AnF, Ângulo de Fase; CMO, Conteúdo Mineral Ósseo; DMO, Densidade Mineral Óssea; IR, Índice de Resistência; IXc, Índice de Reactância; IZ, Índice de Impedância

No que diz respeito às correlações dos parâmetros brutos da BIA (R, Xc e Z), não existem associações significativas com o CMO nem com DMO. Por outro lado, o AnF demonstra correlações significativas somente para o sexo masculino ($r = 0,327$; $p < 0,05$ e $r = 0,352$; $p < 0,001$, para o CMO e DMO, respetivamente). Relativamente aos Índex, no sexo masculino apuram-se correlações positivas moderadas entre o CMO e o IR ($r = 0,597$; $p < 0,001$), assim como com o IZ ($r = 0,594$; $p < 0,001$). Também a DMO apresenta uma associação positiva moderada com o IZ ($r = 0,452$; $p < 0,001$). Porém, no sexo feminino, apenas o CMO exhibe correlações estatisticamente significativas, sendo estas moderadas com o IR ($r = 0,537$; $p < 0,001$), com o IXc ($r = 0,442$; $p < 0,001$) e também com o IZ ($r = 0,537$; $p < 0,001$).

Após a normalização dos parâmetros bioelétricos para a altura, averigua-se que a R/H se encontra negativamente associada com o CMO ($r = -0,457$; $p < 0,001$) e com a DMO ($r = -0,365$; $p < 0,001$) nos indivíduos do sexo masculino. Por outro lado, no sexo feminino, apenas o CMO está significativamente associado com a R/H ($r = -0,400$, $p < 0,05$). Além disto, observa-se uma associação significativa entre a Z/H com o CMO e a DMO ($r = -0,453$; $p < 0,001$ e $r = -0,362$; $p < 0,001$, respetivamente) no sexo masculino, todavia

apenas com o CMO ($r = -0,399$; $p = 0,024$) no sexo feminino. Nenhum dos parâmetros bioelétricos específicos apresenta correlações significativas.

Os modelos de regressão múltipla para a R/H e Xc/H estão representados nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

Tabela 4 – Análise de Regressão Múltipla entre o R/H e o CMO e a DMO

Sexo	R²	R²ajustado	EPE	β	EP	p-value	VIF
Masculino							
CMO							
Modelo 1	0,209	0,195	390,277	-6,892	1,762	0,001	1,000
Modelo 2	0,567	0,551	291,374	4,991	2,175	0,025	2,733
Modelo 3	0,617	0,597	276,237	3,689	2,117	0,087	2,880
DMO							
Modelo 1	0,133	0,118	0,115	-0,002	0,001	0,004	1,000
Modelo 2	0,359	0,336	0,100	0,001	0,001	0,145	2,733
Modelo 3	0,389	0,357	0,098	0,001	0,001	0,283	2,880
Feminino							
CMO							
Modelo 1	0,160	0,132	313,306	-3,230	1,351	0,023	1,000
Modelo 2	0,345	0,300	281,340	0,677	1,826	0,713	2,264
Modelo 3	0,347	0,277	285,950	0,522	1,943	0,790	2,264
DMO							
Modelo 1	0,098	0,068	0,112	-0,001	0,000	0,081	1,000
Modelo 2	0,117	0,056	0,112	0,000	0,001	0,552	2,264
Modelo 3	0,117	0,022	0,114	0,000	0,001	0,582	2,483

Legenda: Modelo 1: R/H; Modelo 2: R/H ajustada para a MIG; Modelo 3: R/H ajustada para a MIG e idade

Abreviaturas: R, Resistência; Xc, Reactância; H, Altura; CMO, Conteúdo Mineral Ósseo; DMO, Densidade Mineral Óssea; PC: Peso Corporal; VIF: Fator de Inflação da Variância; EP, Erro Padrão de Estimativa; β, Coeficiente de Regressão; R², Coeficiente de Determinação;

Em relação à R/H, no sexo masculino, o CMO é um preditor significativo desta, independentemente da MIG ($\beta = 4,991$; $p = 0,025$). A R/H quando analisada individualmente (sem o ajuste das co-variáveis) explica 20,9% e 16,0% dos valores do CMO para o sexo masculino e feminino, respectivamente. Por outro lado, a R/H individualmente explica 13,3% dos valores da DMO no sexo masculino.

Tabela 5 - Análise de Regressão Múltipla entre o Xc/H e o CMO e a DMO

Sexo	R²	R²ajustado	EPE	B	EP	p-value	VIF
Masculino							
CMO							
Modelo 1	0,017	0,000	434,969	-13,551	13,530	0,321	1,000
Modelo 2	0,589	0,575	283,622	29,729	10,071	0,005	0,767
Modelo 3	0,628	0,608	272,205	22,228	10,148	0,033	0,767
DMO							
Modelo 1	0,001	-0,016	0,124	-0,001	0,004	0,778	1,000
Modelo 2	0,410	0,389	0,096	0,009	0,003	0,009	1,303
Modelo 3	0,426	0,396	0,095	0,008	0,004	0,032	1,437
Feminino							
CMO							
Modelo 1	0,122	0,092	320,394	-24,904	12,219	0,050	1,000
Modelo 2	0,344	0,298	281,717	-3,127	12,799	0,809	0,705
Modelo 3	0,350	0,280	285,358	-6,196	14,272	0,667	0,582
DMO							
Modelo 1	0,044	0,012	0,115	-0,005	0,004	0,251	1,000
Modelo 2	0,107	0,046	0,113	-0,001	0,005	0,830	1,419
Modelo 3	0,108	0,012	0,115	-0,001	0,006	0,888	1,720

Legenda: Modelo 1: Xc/H; Modelo 2: Xc/H ajustada para a MIG; Modelo 3: Xc/H ajustada para a MIG e idade

Abreviaturas: R, Resistência; Xc, Reactância; H, Altura; CMO, Conteúdo Mineral Ósseo; DMO, Densidade Mineral Óssea; PC: Peso Corporal; VIF: Fator de Inflação da Variância; EP, Erro Padrão de Estimativa; β , Coeficiente de Regressão; R², Coeficiente de Determinação;

No que diz respeito à Xc/H, esta prediz com significado estatístico o CMO e a DMO independentemente da MIG e da idade ($\beta = 4,991$; $p = 0,025$), exclusivamente para os indivíduos do sexo masculino.

Em ambos os parâmetros bioelétricos, no diagnóstico de multicolinearidade o VIF obtido foi sempre inferior a 5.

5.3. Distribuição dos Atletas em Fase Pós-Carreira de acordo com os Percentis do Conteúdo Mineral Ósseo (CMO) e da Densidade Mineral Óssea (DMO)

De modo a analisar a classificação dos atletas em fase pós-carreira quanto aos seus valores de CMO e DMO em relação à população geral dos EUA, foi calculado o percentil de cada indivíduo, considerando a idade, sexo e etnia.

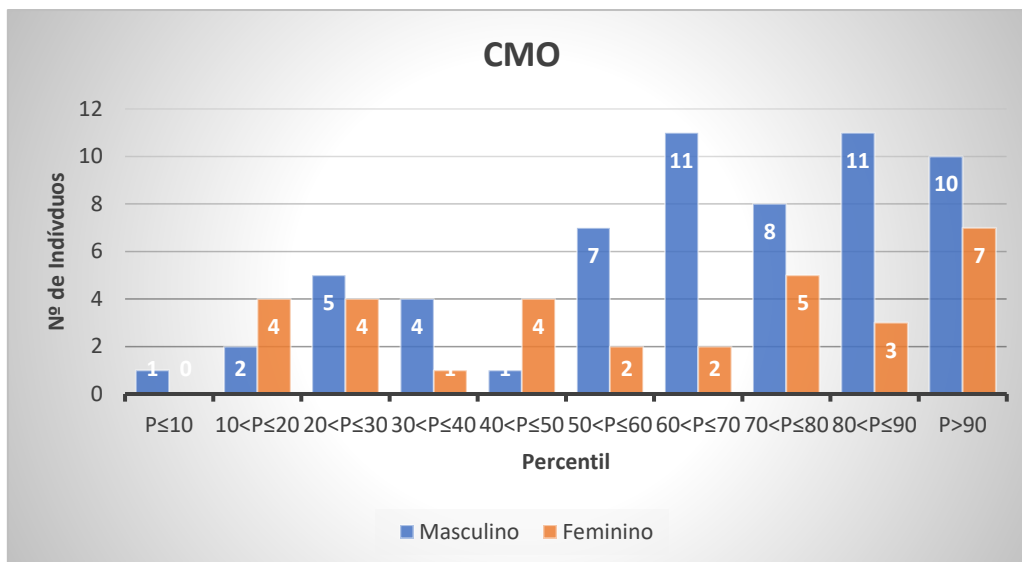


Figura 6 - Distribuição dos atletas em fase pós-carreira de acordo com o percentil do CMO

De acordo com a Figura 6 averigua-se que 13 indivíduos do sexo masculino (21,7%) e 12 do sexo feminino (40,6%) encontram-se abaixo ou no percentil 50 relativamente ao CMO.

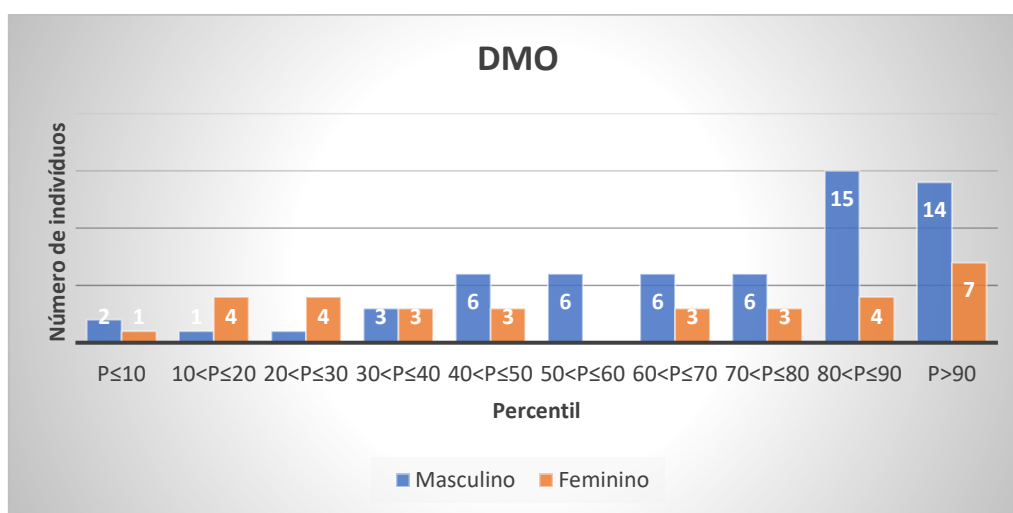


Figura 7 - Distribuição dos atletas em fase pós-carreira de acordo com o percentil da DMO

No que concerne à DMO, a Figura 7 demonstra que se deparam acima do percentil 50 um total de 47 indivíduos do sexo masculino (78,3%) e 17 do sexo feminino (53,1%).

5.4. Comparação entre os dois grupos de Composição Corporal: indivíduos colocados abaixo ou no percentil 50 com os indivíduos colocados acima do percentil 50 para o CMO e DMO, de acordo com o sexo

Nas Tabela 6 e 7 estão sumarizados os valores médios bioelétricos de acordo com a classificação do Percentil do CMO e da DMO, de modo respetivo.

Tabela 6 - Parâmetros Bioelétricos de acordo com a Classificação do percentil de CMO

CMO Sexo Masculino	Percentil Inferior ou Igual a 50 N=13		Percentil Superior a 50 N=47		t- Student	p- value
	\bar{x}	dp	\bar{x}	dp		
R/H (Ohm/m)	275,6	30,9	246,1	25,0	3,585	0,001
Xc/H (Ohm/m)	32,6	4,7	31,2	4,0	1,088	0,281
Z/H (Ohm/m)	277,6	31,0	248,1	25,2	3,551	0,001
AnF (°)	6,8	0,8	7,2	0,6	0,219	0,046
Rsp (Ohm.cm)	434,6	49,8	436,1	51,2	-0,089	0,929
Xcsp (Ohm.cm)	51,4	6,7	55,3	7,6	-1,680	0,098
Zsp (Ohm.cm)	437,7	49,9	439,6	51,5	-0,122	0,904
CMO Sexo Feminino	Percentil Inferior ou Igual a 50 N=13		Percentil Superior a 50 N=19		t- Student	p- value
	\bar{x}	dp	\bar{x}	dp		
R/H (Ohm/m)	359,8	41,0	334,3	39,9	1,759	0,089
Xc/H (Ohm/m)	38,8	4,3	36,8	4,9	1,188	0,244
Z/H (Ohm/m)	362,3	41,9	336,3	40,0	1,773	0,086
AnF (°)	6,2	0,6	6,3	0,6	-0,535	0,596
Rsp (Ohm.cm)	539,3	73,0	507,4	53,9	1,425	0,164
Xcsp (Ohm.cm)	58,2	8,5	55,9	7,4	0,839	0,408
Zsp (Ohm.cm)	543,2	74,2	510,5	54,2	1,441	0,160

Abreviaturas: \bar{x} : Média; dp: Desvio-Padrão; CMO, Conteúdo Mineral Ósseo; R: Resistência; Xc: Reactância; Z: Impedância; H: Altura; AnF: Ângulo de Fase; sp: Específica.

No sexo masculino, existem diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os dois grupos nos parâmetros bioelétricos standardizados para a altura, especificamente na R/H e na Z/H. Em ambos os parâmetros, os indivíduos que se encontram acima do percentil 50 apresentam valores mais reduzidos. Também ao nível do AnF, apura-se uma diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre os dois grupos, sendo este superior nos indivíduos colocados acima do percentil 50. No que concerne ao sexo

feminino, não subsistem diferenças significativas em nenhum dos parâmetros bioelétricos.

Tabela 7- Parâmetros Bioelétricos de acordo com a Classificação do percentil de DMO

DMO Sexo Masculino	Percentil Inferior ou Igual a 50 N=13		Percentil Superior a 50 N=47		t-Student	p-value
	\bar{x}	dp	\bar{x}	dp		
R/H (Ohm/m)	266,6	30,2	248,5	27,5	2,049	0,045
Xc/H (Ohm/m)	31,8	3,9	31,5	4,3	0,220	0,825
Z/H (Ohm/m)	268,5	30,3	250,6	27,7	2,021	0,048
AnF (°)	6,8	0,6	7,2	0,7	1,793	0,078
Rsp (Ohm.cm)	432,6	44,4	436,6	52,4	-0,281	0,782
Xcsp (Ohm.cm)	51,5	5,8	55,2	7,9	-1,588	0,118
Zsp (Ohm.cm)	435,6	44,6	440,2	52,7	-0,284	0,777
DMO Sexo Feminino	Percentil Inferior ou Igual a 50 N=17		Percentil Superior a 50 N=15		t-Student	p-value
	\bar{x}	dp	\bar{x}	dp		
R/H (Ohm/m)	358,5	41,8	332,4	38,7	1,838	0,078
Xc/H (Ohm/m)	38,6	5,0	36,8	4,4	1,073	0,292
Z/H (Ohm/m)	361,0	42,7	334,4	38,8	1,844	0,75
AnF (°)	6,2	0,6	6,3	0,5	-0,850	0,402
Rsp (Ohm.cm)	530,6	72,6	511,3	54,4	0,858	0,398
Xcsp (Ohm.cm)	57,0	8,5	56,7	7,4	0,134	0,894
Zsp (Ohm.cm)	534,3	73,8	514,5	54,7	0,870	0,391

Abreviaturas: \bar{x} : Média; dp: Desvio-Padrão; CMO, Conteúdo Mineral Ósseo; R: Resistência; Xc: Reactância; Z: Impedância; H: Altura; AnF: Ângulo de Fase; sp: Específica.

Na Tabela 7 encontram-se as diferenças dos parâmetros bioelétricos de acordo com a classificação do percentil da DMO. À semelhança do que ocorreu com o CMO no sexo masculino, existem diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os dois grupos na R/H e na Z/H. Mais uma vez, para o sexo feminino, não existem diferenças estatisticamente significativas nos parâmetros bioelétricos.

5.5. Análise Vetorial De Impedância Bioelétrica (BIVA) Clássica e Específica de acordo com a Classificação do percentil do Conteúdo Mineral Ósseo (CMO) e da Densidade Mineral Óssea (DMO)

Nas Tabelas 8 e 9 encontram-se as diferenças vetoriais dos parâmetros brutos da BIVA CClássica (R/H e Xc/H) e Específica (Rsp e Xcsp) de acordo com a classificação do

percentil (indivíduos acima do percentil 50 *versus* indivíduos abaixo ou no percentil 50) subdivididas de acordo com o sexo.

Tabela 8 - Estatística descritiva e comparativa entre grupos com diferentes percentis de CMO e DMO: valores bioelétricos Clássicos

		R/H	Xc/H				
Sexo	P	$\bar{x} \pm dp$	$\bar{x} \pm dp$	T ²	p-value	D	
Masculino	CMO	> 50	246,1 ± 25,0	31,2 ± 4,0	16,2	<0,001	1,26
		≤ 50	275,6 ± 30,9	32,6 ± 4,7			
	DMO	> 50	248,5 ± 27,5	31,5 ± 4,3	7,2	0,035	0,84
		≤ 50	266,6 ± 30,1	31,7 ± 3,9			
Sexo	P	$\bar{x} \pm dp$	$\bar{x} \pm dp$	T ²	p	D	
Feminino	CMO	> 50	334,3 ± 39,9	36,8 ± 4,9	3,1	0,241	0,63
		≤ 50	359,8 ± 41,0	38,8 ± 4,3			
	DMO	> 50	332,4 ± 38,7	36,7 ± 4,4	3,4	0,211	0,65
		≤ 50	358,5 ± 41,8	38,6 ± 5,0			

Abreviaturas: P: Percentil; \bar{x} : Média; dp: Desvio-Padrão; T²: Teste de Hotelling; D: Distância Mahalanobis; R: Resistência; Xc: Reactância; H: Altura; sp: Específica; CMO: Conteúdo Mineral Ósseo; DMO: Densidade Mineral Óssea

No sexo masculino, tanto para o CMO como para a DMO, verificam-se diferenças estatisticamente significativas nos parâmetros da BIVA Clássica entre os indivíduos que se encontram acima do percentil 50 e aqueles que se encontram abaixo ou no percentil 50 ($p < 0,001$; $p < 0,05$, respetivamente). Em relação ao sexo feminino não se apuram diferenças vectoriais estatisticamente significativas entre os dois grupos.

Tabela 9 - Estatística descritiva e comparativa entre grupos com diferentes percentis de CMO e DMO: valores bioelétricos Específicos

		Rsp	Xcsp			
Sexo	P	$\bar{x} \pm dp$	$\bar{x} \pm dp$	T²	p-value	D
Masculino						
CMO	> 50	436,1 ± 51,2	55,3 ± 7,6	5,4	0,079	0,73
	≤ 50	434,6 ± 49,8	51,4 ± 6,7			
DMO	> 50	436,6 ± 52,4	55,2 ± 7,9	4,0	0,147	0,63
	≤ 50	432,6 ± 44,4	51,5 ± 5,8			
Sexo	P	$\bar{x} \pm dp$	$\bar{x} \pm dp$	T²	p	D
Feminino						
CMO	> 50	507,4 ± 53,9	55,9 ± 7,4	2,1	0,374	0,52
	≤ 50	539,3 ± 73,0	58,2 ± 8,5			
DMO	> 50	530,6 ± 72,6	57,0 ± 8,5	1,2	0,560	0,39
	≤ 50	511,3 ± 54,4	56,7 ± 7,4			

Abreviaturas: P: Percentil; \bar{x} : Média; dp: Desvio-Padrão; T²: Teste de Hotelling; D: Distância Mahalanobis; R: Resistência; Xc: Reactância; H: Altura; sp: Específica; CMO: Conteúdo Mineral Ósseo; DMO: Densidade Mineral Óssea

No que diz respeito aos parâmetros da BIVA Específica, em ambos os géneros não existem diferenças estatisticamente significativas entre os dois grupos classificados de acordo com o percentil do CMO e da DMO.

Nas Figura 8 e 9 estão representadas a BIVA Clássica juntamente como as suas elipses de confiança para os dois grupos de acordo com o CMO e DMO medidos pela DXA, respetivamente.

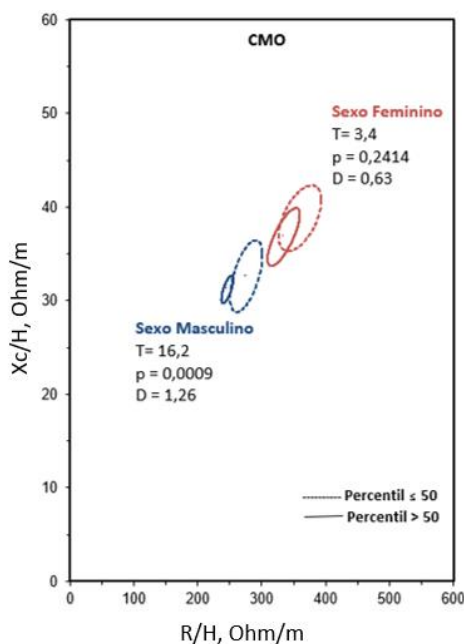


Figura 8 - Vetores Clássicos médios de impedância e elipses de confiança de grupos do sexo masculino e feminino com diferentes composições corporais de acordo com o CMO

No que concerne ao CMO, através da Figura 8 observa-se que a BIVA Clássica entre os dois grupos difere significativamente no sexo masculino ($p < 0,05$), mas o mesmo não se sucede com os indivíduos do sexo feminino ($p = 0,2414$).

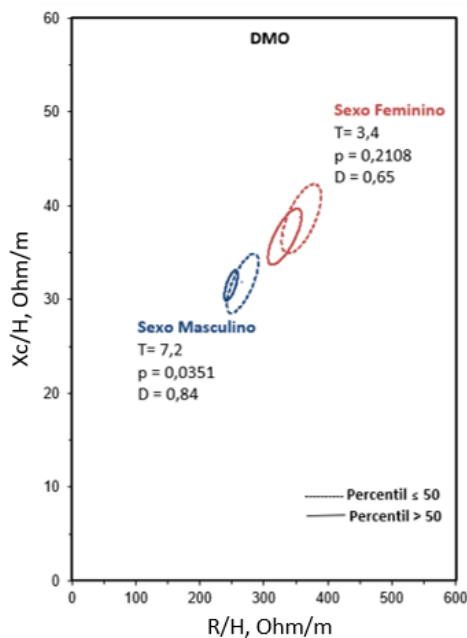


Figura 9 - Vetores Clássicos médios de impedância e elipses de confiança de grupos do sexo masculino e feminino com diferentes composições corporais de acordo com a DMO

Relativamente à DMO, a Figura 9 demonstra que, mais uma vez, a BIVA Clássica difere significativamente entre os dois grupos no sexo masculino ($p < 0,05$), todavia, no sexo feminino o mesmo não acontece ($p = 0,2108$).

As Figura 10 e 11 demonstram a BIVA Específica bem como as suas elipses de confiança para os dois diferentes grupos, de acordo com os percentis de CMO e DMO pela

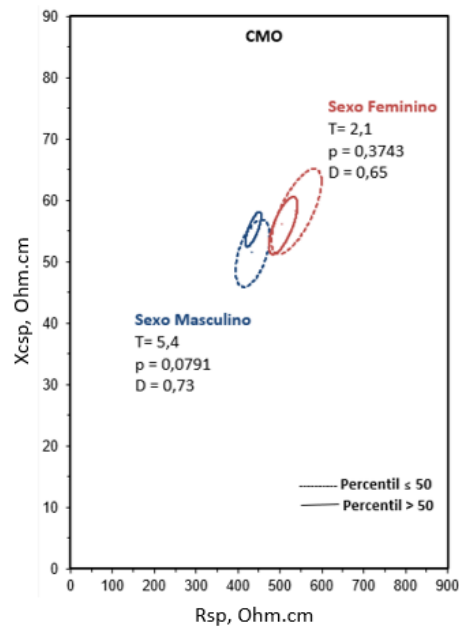


Figura 10 - Vetores Específicos médios de impedância e elipses de confiança de grupos do sexo masculino e feminino com diferentes composições corporais de acordo com o CMO

No que diz respeito ao CMO, a BIVA Específica entre os dois grupos não diferiu significativamente no sexo masculino ($p = 0,73$), nem no sexo feminino ($p = 0,65$).

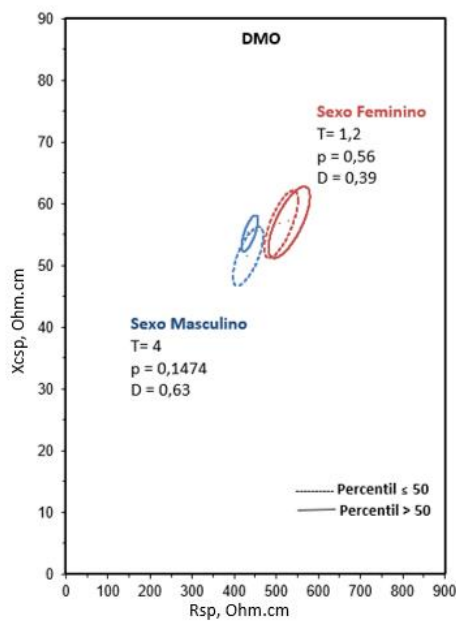


Figura 11 - Vetores Específicos médios de impedância e elipses de confiança de grupos do sexo masculino e feminino com diferentes composições corporais de acordo com a DMO

Do mesmo modo, para a DMO, não existem diferenças estatisticamente significativas dos diferentes grupos de composição corporal na BIVA Específica no sexo masculino ($p = 0,63$) assim como no sexo feminino ($p = 0,39$).

Nas Figuras 12 e 13 deparam-se os Vetores Clássicos médios e a distribuição das elipses de confiança dos dois grupos considerando como população de referência os indivíduos dos EUA e de Itália, respetivamente.

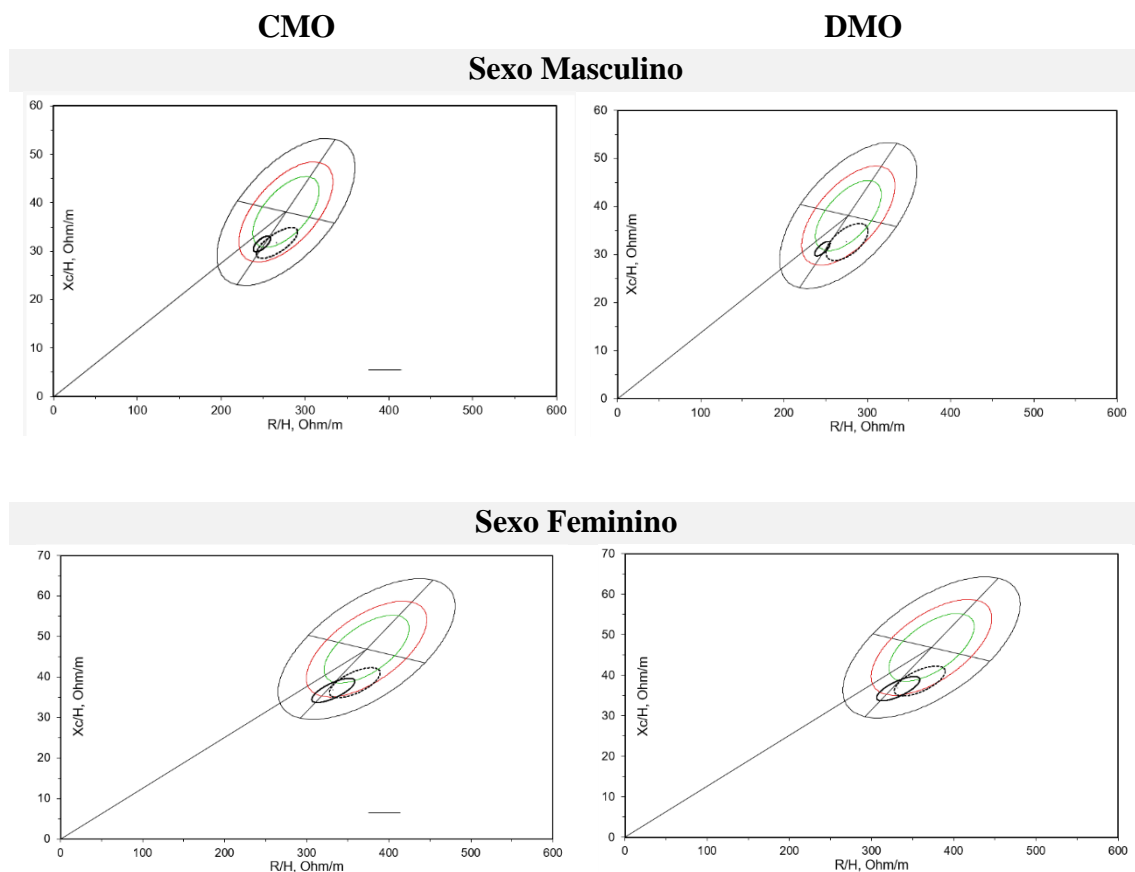


Figura 12 - Vetores Clássicos médios e distribuição das elipses de confiança dos grupos do sexo masculino e feminino com diferentes composições corporais de acordo com o percentil da DMO e CMO (população de referência Homens/ Mulheres, Caucasianos(as), com idade entre os 20 e os 69 anos, IMC entre 19 e 30, EUA (NHANES III), Valhalla Scientific). A tracejado: indivíduos abaixo ou no percentil 50 da DMO.

Assimilando como população de referência a população dos EUA, na Figura 12 observa-se que os indivíduos do sexo masculino que se encontram acima do percentil 50 para o CMO e DMO surgem no quadrante dos indivíduos obesos, enquanto os indivíduos que se encontram abaixo ou no percentil 50 deparam-se no quadrante referente aos

indivíduos caquéticos. Em relação ao sexo feminino, verifica-se que ambos os grupos se encontram no quadrante referente aos indivíduos caquéticos.

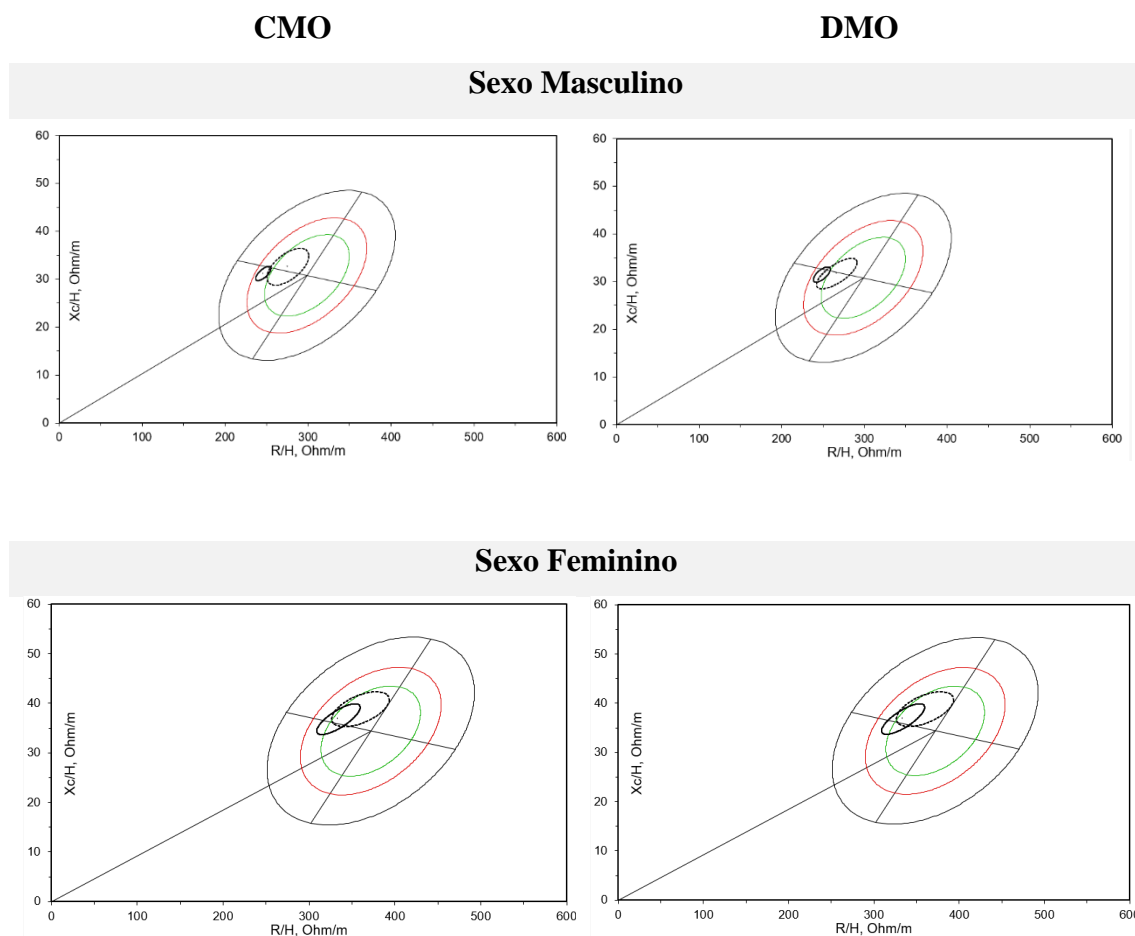


Figura 13 - Vetores Clássicos médios e distribuição das elipses de confiança de grupos do sexo masculino e feminino com diferentes composições corporais de acordo com o percentil da DMO e CMO (população de referência: Homens/ Mulheres, com idade entre os 16 e os 85 anos)

Quando considerada como referência a população italiana, na Figura 13 verifica-se que os indivíduos do sexo masculino que se encontram acima do percentil 50 para o CMO e DMO surgem no quadrante dos indivíduos obesos, todavia, os indivíduos que se encontram abaixo ou no percentil 50 apresentam-se no quadrante relativo aos indivíduos atléticos para o CMO e no quadrante alusivo aos indivíduos obesos para a DMO. No que concerne ao sexo feminino, verifica-se que ambos os grupos se encontram no quadrante referente aos indivíduos atléticos.

6. DISCUSSÃO

Desde a sua introdução em 1994, a BIVA tem demonstrado ser uma alternativa válida na metodologia convencional da BIA (Piccoli et al., 1994). O presente estudo, analisou a associação entre os parâmetros bioelétricos da BIVA com o CMO e a DMO em atletas em fase pós-carreira com excesso de peso ou obesidade, utilizando a DXA como técnica de referência. Os resultados obtidos demonstram que, para a amostra total, o AnF e a R/H estavam relacionados com o CMO e DMO. Após a divisão de acordo com o sexo, apenas no masculino, a R/H manteve a associação negativa com o CMO e com a DMO. Em adição, os resultados demonstraram que a BIVA Clássica difere entre os indivíduos do sexo masculino que se encontram abaixo ou no percentil 50 e os que se encontram acima do percentil 50, tanto para o CMO como para a DMO. Estes resultados providenciam um novo biomarcador para o CMO e DMO com recurso à BIVA.

Esta classificação normativa do CMO e da DMO teve como base o NHANES, um estudo que foi desenvolvido nos EUA com o objetivo de avaliar a saúde e o estado nutricional de adultos e crianças (Kelly et al., 2009). O NHANES realiza uma pesquisa contínua e representativa da saúde da população civil dos EUA não institucionalizada, recolhendo anualmente dados sobre cerca de 5000 indivíduos através de entrevistas, exames físicos e testes médicos (Centers for Disease Control and Prevention, 2021). Os dados de referência descritos por este são úteis na interpretação dos valores da composição corporal, possibilitando o posterior estabelecimento de intervalos de referência para estudos epidemiológicos assim como a definição de critérios de entrada em ensaios clínicos (Kelly et al., 2009).

No presente estudo foram registadas diferenças significativas nas variáveis bioelétricas entre o sexo masculino e feminino. Ao nível do AnF, note-se que este depende de vários fatores biológicos, nomeadamente a quantidade de células, a integridade da membrana celular, a permeabilidade celular e as quantidades de FEC e FIC (Gonzalez et al., 2016). Norman juntamente com os seus colaboradores (2012), afirmaram que o AnF diminui com a idade, devido a uma redução na X_c , em paralelo com uma perda de massa muscular. Esta redução do AnF explica-se adicionalmente, pelo aumento da R, como consequência do declínio proporcional de água corporal. Deste modo, os indivíduos do sexo masculino possuem AnF superiores relativamente ao sexo feminino devido à maior quantidade de massa muscular corporal (Norman et al., 2012). Os resultados do presente estudo vão ao

encontro do estudo supramencionado, no qual o AnF foi superior nos indivíduos do sexo masculino. De facto, estes ao apresentarem um peso e MIG superior, representando um maior número de células (células musculares e adiposas), têm como resultado um valor de AnF superior (Barbosa-Silva, Barros, Wang, Heymsfield, & Jr., 2005).

Contrariamente, as restantes variáveis bioelétricas foram superiores no sexo feminino, corroborando igualmente com estudos previamente realizados (Espinosa-Cuevas et al., 2007; Francisco et al., 2020; Kolodziej, Ignasiak, & Ignasiak, 2021; Marini et al., 2012). Este facto é justificado pelo menor teor de água corporal e pela maior quantidade de MG comparativamente ao sexo masculino (Ritz et al., 2008; Wu & O'Sullivan, 2011). Sabe-se que a R, a medida de oposição ao fluxo de corrente elétrica pelo corpo, é um indicador das características condutoras dos corpos e dos líquidos, aumentando proporcionalmente com a quantidade de gordura e osso, mas diminuindo perante um aumento do conteúdo de água e da massa muscular (Davydov, Boev, & Gorbunov, 2021; Mialich et al., 2014). Deste modo, os valores de R mais elevados são justificados pela menor quantidade de água corporal no sexo feminino (Slinde & Rossander-Hulthén, 2001).

Quanto à X_c , isto é, a oposição do capacitador à corrente alternada e indicadora da capacitância da membrana celular, esta irá aumentar ou diminuir dependendo não só da saúde celular como também do número de células (Davydov et al., 2021; Malbrain et al., 2014). Consequentemente, uma maior quantidade de tecidos moles está diretamente relacionada com os valores de X_c . De facto, quando comparados com populações atléticas, os valores de X_c do presente estudo foram inferiores (Francisco et al., 2020; Marini et al., 2020). Quanto à superioridade da X_c do sexo feminino em relação ao masculino, este facto corrobora estudos anteriores (Denti, Sanfelici, & Benedetti, 1997; Lu et al., 2021; Ruggieri, 2019). Na teoria, um aumento da AEC pode produzir um aumento do desvio da corrente e como consequência, um decréscimo da R e da X_c (Baumgartner et al., 1988; Ruggieri, 2019). De facto, no estudo de Ruggieri (2019) realizado durante o tratamento de diálise peritoneal crónica, tanto a R como a X_c apresentaram valores mais elevados no sexo feminino, fundamentando-se pela maior quantidade de AEC com base num maior rácio de AEC (kg)/ Massa Celular (kg) (Ruggieri, 2019). Uma outra possível justificação para a superioridade dos valores de X_c no sexo feminino está relacionada com a gordura subcutânea e intra-abdominal assim como com a gordura intersticial no músculo, que poderá contribuir para a redução não só da parede celular, como também da permeabilidade tecidual, produzindo um aumento na

Xc e na R (Baumgartner et al., 1988). Assim, os valores mais elevados de Xc no sexo feminino poderão ser explicados pela maior %MG.

No âmbito da %MG, existem diferenças estatisticamente significativas entre os sexos, com o sexo feminino a apresentar uma %MG de 41,7% e o masculino de 28,7%, apesar de não diferenciarem estatisticamente no IMC. Este resultado constata o estudo realizado por Schorr e seus colaboradores (2018) no qual, apesar de os indivíduos do sexo masculino e feminino possuírem um IMC semelhante, os indivíduos do sexo feminino apresentaram uma %MG superior em relação aos indivíduos do sexo masculino (Schorr et al., 2018).

De modo factual, o IMC é a medida utilizada com mais frequência para classificar o PC e o risco de saúde, permitindo definir as características antropométricas de peso/altura em adultos e posteriormente categorizá-los em grupos (Jonnalagadda, Skinner, & Moore, 2004; Nuttall, 2015). No entanto, o IMC apresenta algumas limitações (Nuttall, 2015; Rothman, 2008). Em atletas que apresentam um peso mais elevado devido à sua MIG, o IMC pode induzir a uma categorização incorreta do atleta, classificando-o como com excesso de peso ou obesidade (Jonnalagadda et al., 2004). Igualmente em atletas femininas de elite de diversos desportos, o IMC demonstrou não ser uma medida válida para a avaliação ou monitorização da composição corporal (Torstveit & Sundgot-Borgen, 2012). O estudo de Pasco e seus colaboradores (2012) concluiu que o IMC sobrestima a adiposidade nos indivíduos do sexo masculino, cujo peso excessivo é largamente atribuído à maior massa muscular e massa óssea (Pasco, Nicholson, Brennan, & Kotowicz, 2012). Pelo contrário, o IMC subestima a MG na população idosa (Pasco et al., 2012).

Para além de a utilização do IMC não considerar a “qualidade” da composição corporal (contributo da MIG e MG), este também não discrimina as alterações da composição corporal no decorrer da idade, assim como não captura informação quanto à localização da MG (Nuttall, 2015; Rothman, 2008). No âmbito da localização da MG, o estudo realizado por Schorr e seus colaboradores (2018) sugere que são necessárias imagens anatómicas e funcionais detalhadas, ao invés do IMC, que permitam uma compreensão mais completa do risco metabólico associado às diferenças sexuais na distribuição de gordura (Schorr et al., 2018). De modo consequente, todas estas limitações conduzem a um viés na medição dos efeitos da obesidade nos resultados de saúde (Rothman, 2008).

Em suma, apesar da utilidade do IMC em estudos de base populacional devido à sua ampla aceitação na definição de categorias específicas de massa corporal como um problema de saúde, o IMC é um indicador pobre da %MG (Nuttall, 2015).

Quanto ao MO, os indivíduos do sexo masculino apresentaram valores médios de CMO e de DMO mais elevados em relação ao sexo feminino. Estes resultados vão de encontro ao que se encontra reportado na literatura, uma vez que os indivíduos do sexo masculino tendem a deter uma maior DMO e CMO (Alswat & Loss, 2017; Chen, Liu, Lee, Yang, & Chan, 2020; Segheto et al., 2020). Uma possível justificação para a superioridade masculina no que concerne ao MO, prende-se com as diferenças na massa e geometria óssea que conferem uma maior integridade esquelética, contribuindo para a menor incidência de fraturas de stress e também osteoporóticas (Nieves et al., 2005).

No que se refere às associações entre as variáveis bioelétricas com o CMO e a DMO, denota-se uma associação negativa entre estes. De acordo com a literatura, os ossos afetados pela osteoporose são menos densos comparativamente aos ossos normais, emergindo numa redução da sua densidade e num aumento da resistividade (Patil et al., 2012). Por conseguinte, quando existe uma alteração da resistividade dos ossos, os parâmetros bioelétricos do corpo sofrem alterações, providenciando informação quantitativa sobre o défice da DMO (Patil et al., 2012). A presente dissertação demonstra que o AnF e a R/H estão, de modo respetivo, positivamente e negativamente relacionados com o CMO e a DMO. Estes resultados corroboram estudos anteriormente realizados (Antunes et al., 2020; Lu et al., 2021). De facto em relação ao AnF, tanto Antunes e seus colaboradores (2020) como Lu juntamente com a sua equipa (2021), demonstraram existir uma correlação positiva moderada entre o AnF e a DMO (Antunes et al., 2020; Lu et al., 2021). Quanto à R/H, os estudos previamente realizados demonstram uma correlação moderada positiva ($r = 0,482$) com a %MG numa população de idosos, assim como uma correlação positiva fraca com o rácio AEC/AIC em indivíduos adultos dos EUA do sexo masculino ($r = 0,278$) e do sexo feminino ($r = 0,295$) (Buffa et al., 2013; Marini et al., 2013). No estudo realizado por Lu e seus colaboradores (2021), a DMO esteve associada negativamente com a R/H embora positivamente correlacionada com a Xc/H (Lu et al., 2021). Deste modo, nos atletas em fase pós-carreira do sexo masculino, uma migração lateral do vetor devido a uma R baixa ou alta indica também uma maior ou menor CMO ou DMO. Note-se que as correlações, quando divididas de acordo com o sexo, foram mais fortes no sexo masculino. Esta situação poderá ser explicada pela amostra incluída, na

medida em que esta é maioritariamente composta por indivíduos do sexo masculino, podendo existir uma falta de potência para detetar diferenças em relação ao sexo feminino.

O IR, ao invés de simplesmente R ou Z, é o preditor eleito em estudos de composição corporal realizados com a BIA, dado que se baseia exclusivamente na relação da Lei de Ohm (Kourkoumelis et al., 2021). De forma suplementar, este está diretamente relacionado com a ACT, sendo também um grande preditor da MIG (Beudart et al., 2020; Kriemler et al., 2009; Kushner, Schoeller, Fjeld, & Danford, 1992; Sergi et al., 2015). De acordo com os resultados do presente estudo, verifica-se que o IR está igualmente associado com o CMO, apresentando associações positivas moderadas com o CMO ($r = 0,597, p < 0,001$; $r = 0,537, p < 0,001$) em ambos os sexos.

Na amostra do presente estudo, somente 21,7% dos indivíduos do sexo masculino apresentaram valores de CMO e DMO iguais ou inferiores a metade da população de acordo com os respetivos sexos, idade e etnias. Este resultado pode em parte ser explicado pelo papel vital do exercício na otimização da saúde óssea nos atletas. Efetivamente, o exercício tem um impacto variável nos diferentes fases da vida, sendo a adolescência um tempo crítico para o desenvolvimento da massa óssea (Goolsby & Boniquit, 2017; Tveit, Rosengren, Nyquist, Nilsson, & Karlsson, 2013). Adicionalmente, a literatura reporta que os atletas em fase pós-carreira que mantiveram um estilo de vida ativo até uma idade mais avançada apresentam uma DMO substancialmente superior em relação aos indivíduos saudáveis pertencentes ao grupo de controlo (Kettunen et al., 2010). No entanto, naqueles que participaram em desportos sensíveis ao peso, poderão existir problemas nutricionais, alterações dos valores das hormonas sexuais e um comprometimento da saúde óssea (Tenforde, Barrack, Nattiv, & Fredericson, 2016). Na verdade, são os atletas de fundo, os ciclistas e os nadadores, que mais frequentemente apresentam uma saúde óssea mais vulnerável (Scofield & Hecht, 2012). De um modo geral, enquanto jovens, estes atletas desenvolvem uma reduzida massa óssea que geralmente está associada a uma minorada DMO num momento em que o acúmulo ósseo é crítico para a obtenção do pico de massa óssea, que contribuiu para um incremento da taxa de fratura por stress e a potenciais implicações futuras como a osteoporose e as fraturas (Scofield & Hecht, 2012; Tenforde et al., 2016).

No presente estudo, a percentagem de indivíduos do sexo feminino que se encontraram abaixo do percentil 50 é de 40,6%. Na verdade, comparativamente ao sexo masculino, o feminino apresenta proporcionalmente uma maior quantidade de indivíduos colocados abaixo do percentil 50 no que diz respeito ao CMO e DMO, podendo este facto ser explicado pelo impacto mais robusto do desporto nos indivíduos do sexo feminino (Meczekalski et al., 2014). Na prática, a existência da Tríade da Mulher Atleta (TMA) é ampla, com uma prevalência variável de acordo com o desporto (Williams, Statuta, & Austin, 2017). A TMA é definida como uma inter-relação de baixa disponibilidade energética (com ou sem desordens alimentares), disfunção menstrual, e uma baixa DMO, com possíveis consequências nefastas para a saúde, incluindo as lesões por stress ósseo (Nattiv et al., 2007; Tenforde et al., 2016). São os desportos, que exigem um elevado DE, um físico magro e/ou um componente estético, que apresentam uma maior incidência desta problemática (Williams et al., 2017). No estudo realizado por Meczekalski e seus colaboradores (2014), verificou-se que as mulheres atletas em pós-carreira, que sofreram da TMA durante a sua juventude, apresentam uma DMO mais reduzida e um incremento do risco de fratura, colocando ênfase na importância da constante monitorização para a osteopenia e osteoporose com a DXA (Meczekalski et al., 2014). Na realidade, já na década de 90, um *follow-up* sugeriu que a normalização da massa óssea das atletas em fase pós-carreira amenorreicas seria improvável (Keen & Drinkwater, 1997). Não obstante, caso estas atletas após o término das suas carreiras fossem fisicamente ativas e caso concretizassem um consumo considerável de cálcio, as médias do índice de rigidez ósseo nos primeiros cinco anos após a menopausa seriam superiores, sendo a perda de massa óssea consistente com o processo evolucionar e semelhante ao das não atletas (Czeczuk et al., 2012). Com efeito, tanto o pico da massa óssea como a fertilidade podem não estar completamente comprometidos nas atletas femininas em fase pós-carreira que anteriormente eram amenorreicas, sendo possível a sua recuperação através da dieta, do ganho de peso e do retorno da menstruação na terceira década de vida (Hind, 2008).

Resumidamente, são vários os fatores que influenciam o MO. Entre estes, encontra-se o desporto praticado. De facto, os desportos como os de lançamento, saltos, judo, boxe, *wrestling*, isto é desportos com um impacto mais elevado, nos quais os atletas possuem uma força muscular superior pressupõem maiores DMO (Andreoli et al., 2001; Sagayama, Kondo, Tanabe, Ohnishi, & Yamada, 2020; Schmitt, Friebe, Schneider, & Sabo, 2005). Em contraparte, os desportos de endurance como a natação, corrida de

fundo, ciclismo compreendem um CMO e DMO mais baixos (Mudd, Fornetti, & Pivarnik, 2007; Schmitt et al., 2005). Um outro fator é o tempo após a carreira desportiva, sugerindo-se que o tempo após o término da carreira desportiva prediz a DMO em atletas em fase pós-carreira (M. K. Karlsson et al., 2000). De facto, o estudo realizado por Uzunca e seus colaboradores (2005) demonstrou existir uma associação negativa entre a DMO e o tempo de término da carreira, isto é, a DMO irá diminuir à medida que os anos após o término da carreira desportiva incrementem (Uzunca et al., 2005). Na verdade, já o estudo de Magnus (2004) conclui que, mesmo naqueles que durante a carreira desportiva obtiveram benefícios na DMO, a longo prazo, irão perdê-los 3 a 5 décadas após o término das suas carreiras (Magnus K. Karlsson, 2004). De forma semelhante, um outro estudo sugeriu que aos 70 anos de idade não existem diferenças na DMO nos atletas em fase pós-carreira em comparação com os indivíduos normais (Magnusson et al., 2001). Quer isto dizer que, o calcanhar de Aquiles do exercício é a sua cessação, uma vez que, a maioria dos benefícios da DMO alcançados pelo exercício diminuem com a interrupção do mesmo. De facto, a maioria dos dados prospectivos em atletas no pós-carreira indicam uma maior perda de DMO em atletas pós-carreira em comparação aos que continuam a realizar exercício físico (Magnus K. Karlsson, 2004).

No que concerne à BIVA, especificamente no sexo masculino, a BIVA Clássica revelou ter a capacidade de reconhecer a diferença entre os indivíduos acima e os indivíduos abaixo do percentil 50 para o CMO e DMO, embora falhe na distinção de diferentes proporções de MG (Buffa et al., 2013; Marini et al., 2013). Os indivíduos do sexo masculino com um CMO e DMO superior à média para a sua idade e etnia, exibiram um comprimento vetorial menor, sugestivo de uma maior quantidade de ACT, mas mostraram um AnF superior (H. Lukaski, 2013). Contrariamente, os indivíduos com um CMO e DMO inferior à média de acordo com a sua idade e etnia, apresentaram um AnF inferior sugerindo uma menor massa celular corporal, nomeadamente de MG e MIG, assim como um menor rácio AEC/AIC, todavia continham um comprimento vetorial superior (Piccoli, 2010). Estes resultados são concordantes com o estudo de Lu e seus colaboradores (2021) realizado em idosos, uma vez que de acordo com estes investigadores, uma DMO mais elevada está associada a um comprimento vetorial menor e a um AnF superior (Lu et al., 2021). Já a BIVA Específica, que demonstrou possuir uma boa capacidade em reconhecer as diferenças na %MG na população idosa italiana e

na população dos E.U.A., revelou não ser apta em diferenciar os percentis de CMO e DMO (Buffa et al., 2013; Marini et al., 2013).

Quanto ao sexo feminino, tanto a BIVA Clássica como a Específica não exibiram diferenças estatisticamente significativas entre os grupos definidos de acordo com o percentil de CMO e DMO onde se encontravam. Este resultado, para além da influência derivada do tamanho reduzido da amostra, poderá ter implicações relacionadas com a elevada variabilidade biológica do sexo feminino, como consequência dos efeitos hormonais. Estes últimos, conduzem naturalmente a uma elevada heterogeneidade da estrutura dos tecidos moles, e consequentemente, a uma enorme mutabilidade nas distribuições de vetores individuais no sexo feminino em relação ao masculino, conforme indicado pelo maior tamanho das elipses de tolerância (Piccoli, Pillon, & Dumler, 2002).

No âmbito dos Vetores Clássicos e das elipses de confiança, foram registadas diferenças de acordo com a população de referência utilizada. Quando considerada a população dos EUA como referência, a distribuição dos participantes dividiu-se entre os quadrantes referentes aos indivíduos caquéticos e os obesos, no entanto, quando era considerada a população italiana, a distribuição recaiu entre os quadrantes alusivos aos indivíduos obesos e atléticos. Esta distribuição manifesta a ideia de uma aproximação da composição corporal portuguesa à italiana, relativamente à americana.

LIMITAÇÕES

Apesar dos resultados promissores encontrados neste trabalho, existem algumas limitações que devem ser mencionadas. Primeiramente, a existência de uma representação desequilibrada entre sexos, com um número de indivíduos do sexo masculino a ser bastante superior relativamente ao feminino. Por outro lado, o efeito de variáveis de confundimento, como a grande variabilidade da faixa etária (18-65 anos) dos participantes incluídos.

Adicionalmente, a própria utilização dos percentis do NHANES constitui uma limitação, na medida que este é um estudo desenvolvido para avaliar a saúde e o estado nutricional de adultos e crianças nos EUA e não na população portuguesa. Efetivamente, ainda não é claro se os valores de referências são aplicáveis a populações fora da América (Ofenheimer et al., 2020; Shuhart et al., 2019).

No âmbito do sexo feminino, note-se que não foi considerado o ciclo menstrual, não existindo divisão em pré e pós-menopausa, apesar de na Europa a idade média da menopausa rondar os 50 anos, e a idade média dos indivíduos do sexo feminino do presente estudo ser de 43 anos (Schoenaker, Jackson, Rowlands, & Mishra, 2014). Ainda assim, o conhecimento deste estado é fundamental na medida em que, durante o período de transição da menopausa, a queda de estrogénio leva a uma maior reabsorção óssea, resultando em osteoporose (Ji & Yu, 2015).

Recentemente, um estudo mostrou que os dispositivos de UF-BIA e BIS não podem ser utilizados de modo intercambiável (Silva et al., 2019). Por conseguinte, os resultados deste estudo apenas são aplicáveis em avaliações realizadas com a BIS a uma frequência de 50 kHz e em atletas em fase pós-carreira obesos ou com excesso de peso.

7. CONCLUSÃO

O presente estudo conclui que tanto o CMO como a DMO estão negativamente associados com a R/H no sexo masculino. Consequentemente, a BIVA Clássica difere entre os atletas em fase pós-carreira do sexo masculino que se encontram acima do percentil 50 e os que se encontram abaixo ou no percentil 50 para o CMO e DMO. Deste modo, os dispositivos de BIA que providenciam estimativas da BIVA Clássica poderão ser futuramente um instrumento pertinente no que concerne à monitorização da saúde óssea nesta população.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aleixo, G. F. P., Shachar, S. S., Nythrop, K. A., Muss, H. B., Battaglini, C. L., & Williams, G. R. (2020). Bioelectrical Impedance Analysis for the Assessment of Sarcopenia in Patients with Cancer: A Systematic Review. *The Oncologist*, *25*(2), 170–182. <https://doi.org/10.1634/theoncologist.2019-0600>
- Alemán-Mateo, H., Huerta, R., Esparza-Romero, J., Méndez, R., Urquidez, R., & Valencia, M. (2007). Body composition by the four-compartment model: validity of the BOD POD for assessing body fat in mexican elderly. *European Journal of Clinical Nutrition*, *61*(7), 830–836. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602597>
- Alicia, M., Martín, C., Mateo, B. De, Barrera, S., Domínguez, L., & Paz, M. (2014). Specific bioelectrical impedance vector analysis (BIVA) is more accurate than classic BIVA to detect changes in body composition and in nutritional status in institutionalised elderly with dementia. *Experimental Gerontology*, *57*, 264–271. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2014.06.016>
- Alswat, K. A., & Loss, B. (2017). Gender Disparities in Osteoporosis. *Journal of Clinical Medicine Research*, *9*(5), 382–387.
- Altowerqi, Z. M., Abidin, Z., & Zainuddin, B. (2020). Are Former Athletes Protected Against Obesity after Retirement? *Indian Journal of Public Health Research & Development*, *11*(2), 1989–1994. <https://doi.org/10.37506/v11/i2/2020/ijphrd/195123>
- American Dietetic Association, Dietitians of Canada, American College of Sports Medicine, Rodriguez, N. R., Marco, N. M. Di, & Langley, S. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *41*(3), 709–731. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31890eb86>
- Andreoli, A., Garaci, F., Cafarelli, F. P., & Guglielmi, G. (2016). Body composition in Clinical Practice. *European Journal of Radiology*, *85*(8), 1461–1468. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.02.005>
- Andreoli, A., Monteleone, M., Loan, M. V. A. N., Promenzio, L., Tarantino, U., & Lorenzo, A. D. E. (2001). Effects of different sports on bone density and muscle mass in highly trained athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *33*(4),

507–511.

- Angelo, F., Luca, I., Maurizio, R., Davide, G., Giovanni, A., & Alessandro, G. (2018). The obesity paradox and osteoporosis. *Eating and Weight Disorders - Studies on Anorexia, Bulimia and Obesity*, 23(3), 293–302. <https://doi.org/10.1007/s40519-018-0505-2>
- Antunes, M., Cyrino, E. S., Silva, D. R. P., Tomeleri, C. M., Nabuco, H. C. G., Cavalcante, E. F., ... Sardinha, L. B. (2020). Total and regional bone mineral density are associated with cellular health in older men and women. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 90(3), 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2020.104156>
- Arliani, G. G., Lara, P. S., Ferretti, D. C. A., Cohen, M., Gonçalves, J. P. P., & Ferreti, M. (2014). Impact of Sports on Health of Former Professional Soccer Players in Brazil. *Acta Ortopédica Brasileira*, 22(4), 188–190.
- Ayvaz, G., & Çimen, A. R. (2011). Methods for Body Composition Analysis in Adults. *The Open Obesity Journal*, 3, 62–69.
- Barbosa-Silva, M. C. G., Barros, A. J. D., Wang, J., Heymsfield, S. B., & Jr., R. N. P. (2005). Bioelectrical impedance analysis : population reference values for phase angle by age and sex. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 82(1), 49–52.
- Barreto, M., Gil, A., Kyslaya, I., Paula, A., Santos, A., Böhler, L., ... INSEF Research Group. (2017). Prevalence of overweight and obesity in Portugal : Results from the First Prevalence of overweight and obesity in Portugal : Results from the First (INSEF 2015). *Obesity Research & Clinical Practice*, 12(1), 40–50. <https://doi.org/10.1016/j.orcp.2017.08.002>
- Bartok, C., & Schoeller, D. A. (2004). Estimation of segmental muscle volume by bioelectrical impedance spectroscopy. *Journal of Applied Physiology*, 96(1), 161–166. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00686.2002>
- Batista, C., & Soares, J. M. (2013). Are former elite athletes more protected against metabolic syndrome? *Journal of Cardiology*, 61(6), 440–445. <https://doi.org/10.1016/j.jjcc.2013.01.011>
- Baumgartner, R. N., Chumlea, W. C., & Roche, A. F. (1988). Bioelectric impedance phase angle and body composition. *The American Journal of Clinical Nutrition*,

48(1), 16–23.

- Bazzocchi, A., Ponti, F., Albisinni, U., Battista, G., & Guglielmi, G. (2016). DXA: technical aspects and application. *European Journal of Radiology*, 85(8), 1481–1492. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.04.004>
- Beaudart, C., Bruyère, O., Geerinck, A., Hajaoui, M., Scafoglieri, A., Perkisas, S., ... Buckinx, F. (2020). Equation models developed with bioelectric impedance analysis tools to assess muscle mass: A systematic review. *Clinical Nutrition ESPEN*, 35, 47–62. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2019.09.012>
- Bera, T. K. (2014). Bioelectrical Impedance Methods for Noninvasive Health Monitoring: A Review. *Journal of Medical Engineering*, 2014(2), 1–28. <https://doi.org/10.1155/2014/381251>
- Blüher, M. (2019). Obesity: global epidemiology and pathogenesis. *Nature Reviews Endocrinology*, 15(5), 288–298. <https://doi.org/10.1038/s41574-019-0176-8>
- Bonaccorsi, G., Santomauro, F., Lorini, C., Indiani, L., Pellegrino, E., Pasquini, G., ... Mugello Study Working Group. (2016). Risk of malnutrition in a sample of nonagenarians : Specific versus classic bioelectrical impedance vector analysis. *Nutrition*, 32(3), 368–374. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2015.09.011>
- Borgonha, S., Kuriyan, R., Shetty, P., Ferro-luzzi, A., & Kurpad, A. V. (1997). Body composition by a three compartment model in adult Indian male and female subjects. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, 41(3), 227–233.
- Brantlov, S., Jødal, L., Lange, A., Rittig, S., Ward, L. C., Brantlov, S., ... Ward, L. C. (2017). Standardisation of bioelectrical impedance analysis for the estimation of body composition in healthy paediatric populations : a systematic review. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 41(6), 460–479. <https://doi.org/10.1080/03091902.2017.1333165>
- Brozek, J., Grande, F., Anderson, J. T., & Keys, A. (1963). Densitometric Analysis of Body Composition: Revision of Some Quantitative Assumptions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 110(1), 113–140.
- Buckinx, F., Landi, F., Cesari, M., Fielding, R. A., Visser, M., Engelke, K., ... Luisa, M. (2018). Pitfalls in the measurement of muscle mass : a need for a reference standard.

- Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 9, 269–278.
<https://doi.org/10.1002/jcsm.12268>
- Buffa, R., Mereu, E., Comandini, O., Ibanez, M. E., & Marini, E. (2014). Bioelectrical impedance vector analysis (BIVA) for the assessment of two-compartment body composition. *European Journal of Clinical Nutrition*, 68, 1234–1240.
<https://doi.org/10.1038/ejcn.2014.170>
- Buffa, R., Saragat, B., Cabras, S., Rinaldi, A. C., & Marini, E. (2013). Accuracy of Specific BIVA for the Assessment of Body Composition in the United States Population. *PLOS ONE*, 8(3), 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0058533>
- Callistus, A., Mayland, C. R., Mason, S., Cox, T. F., Varro, A., Stanley, S., & Ellershaw, J. (2019). Bioelectrical impedance vector analysis (BIVA) as a method to compare body composition differences according to cancer stage and type. *Clinical Nutrition ESPEN*, 30, 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2019.02.006>
- Campa, F., Matias, C. N., Nunes, C. L., Monteiro, C. P., Jesus, F., Marini, E., ... Silva, A. M. (2021). Specific Bioelectrical Impedance Vector Analysis Identifies Body Fat Reduction after a Lifestyle Intervention in Former Elite Athletes. *Biology*, 10(6), 524.
- Campa, F., Toselli, S., Mazzilli, M., & Coratella, G. (2021). Assessment of Body Composition in Athletes : A Narrative Review of Available Methods with Special Reference to Quantitative and Qualitative Bioimpedance Analysis. *Nutrients*, 13(1620).
- Carapinha, A., Mendes, P., Carvalho, P. G., Torregrossa, M., & Travassos, B. (2018). Career termination of portuguese elite football players: Comparison between the last three decades. *Sports*, 6(4), 155. <https://doi.org/10.3390/sports6040155>
- Carneiro, I. P., Elliott, S. A., Siervo, M., Padwal, R., Bertoli, S., Battezzati, A., & Prado, C. M. (2016). Is Obesity Associated with Altered Energy Expenditure ? *Advances in Nutrition*, 7(3), 476–487. <https://doi.org/10.3945/an.115.008755.findings>
- Carnero, E. A., Alvero-Cruz, J. R., Giráldez, M. A., & Sardinha, L. B. (2015). La evaluación de la composición corporal “in vivo”; parte I: perspectiva histórica. *Nutrición Hospitalaria*, 31(5), 1957–1967.
<https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.5.8570>

- Carrasco-marginet, M., Castizo-olier, J., Rodri, L., Chaverri, D., Brotons, D., Iurrtia, A., ... Rodri, F. A. (2017). Bioelectrical impedance vector analysis (BIVA) for measuring the hydration status in young elite synchronized swimmers. *PLOS ONE*, *12*(6), 1–17.
- Castizo-Olier, J., Carrasco-Marginet, M., Roy, A., Chaverri, D., Iglesias, X., Pérez-chirinos, C., ... Iurrtia, A. (2018). Bioelectrical Impedance Vector Analysis (BIVA) and Body Mass Changes in an Ultra-Endurance Triathlon Event. *Journal of Sports Science and Medicine*, *17*(4), 571–579.
- Castizo-Olier, J., Iurrtia, A., Jemni, M., Carrasco-Marginet, M., Fernández-García, R., & Rodríguez, F. A. (2018). Bioelectrical impedance vector analysis (BIVA) in sport and exercise: Systematic review and future perspectives. *PLoS One*, *13*(6), 1–26.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2021). National Health and Nutrition Examination Survey. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174180>
- Chen, C. C., Liu, Y. J., Lee, S. P., Yang, H. T., & Chan, W. P. (2020). Gender interactions between vertebral bone mineral density and fat content in the elderly: Assessment using fat–water MRI. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, *51*(5), 1382–1389. <https://doi.org/10.1002/jmri.26956>
- Choi, H. M., Doss, H. M., & Kim, K. S. (2020). Multifaceted physiological roles of adiponectin in inflammation and diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(4), 1219. <https://doi.org/10.3390/ijms21041219>
- Chooi, Y. C., Ding, C., & Magkos, F. (2019). The epidemiology of obesity. *Metabolism*, *92*, 6–10. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2018.09.005>
- Chung, N., Jisu, M. P., Park, K. H., Hwang, H., Han, C. L. J., & So, J. (2018). Non-exercise activity thermogenesis (NEAT): a component of total daily energy expenditure. *Journal of Exercise Nutrition & Biochemistry*, *22*(2), 23–30.
- Cirmanová, V., Bayer, M., Stárka, L., & Zajíčková, K. (2008). The effect of leptin on bone - an evolving concept of action. *Physiological Research*, *57*(Suppl. 1), 143–151. <https://doi.org/10.33549/physiolres.931499>
- Comizio, R., Pietrobelli, A., Tan, Y. X., Wang, Z., Withers, R. T., Heymsfield, S. B., ... Boozer, C. N. (1998). Total body lipid and triglyceride response to energy deficit:

relevance to body composition models. *American Journal of Physiology*, 274(5), E860-6.

Committee on Military Nutrition Research Food and Nutrition Board Institute of Medicine. (1997). Dual-Energy X-Ray Absorptiometry: Research Issues and Equipment. In S. J. Carlson-Newberry & R. B. Costello (Eds.), *Emerging Technologies for Nutrition Research: Potential for Assessing Military Performance Capability* (pp. 151–168). Washington (DC).

Crispilha, S. F., Duque, E. J., Bezerra, K. S., Pereira, R. M. R., Jorgetti, V., Elias, R. M., & Moysés, R. M. A. (2021). The disparity of measuring bone mineral content using bioimpedance and dual-energy absorptiometry in the context of hyperparathyroidism. *Brazilian Journal of Nephrology*, 43(2), 269–273.

Czeczuk, A., Huk-Wieliczuk, E., Michalska, A., Bylina, D., Sołtan, J., & Dzięcioł, Z. (2012). The Effect of Menopause on Bone Tissue in Former Swimmers and in Non-Athletes. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, 21(5), 645–652.

Davydov, D. M., Boev, A., & Gorbunov, S. (2021). Making the choice between bioelectrical impedance measures for body hydration status assessment. *Scientific Reports*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87253-4>

De-Mateo-Silleras, B., De-la-Cruz-Marcos, S., Alonso-Izquierdo, L., Carmina-Martín, M. A., Marugán-de-Miguelsanz, J. M., & Redondo-del-Río, M. P. (2019). A history of physical activity , health and medicine. *PLOS ONE*, 24(1), 32–35.

Demontiero, O., Vidal, C., & Duque, G. (2012). Aging and bone loss: New insights for the clinician. *Therapeutic Advances in Musculoskeletal Disease*, 4(2), 61–76. <https://doi.org/10.1177/1759720X11430858>

Denti, L., Sanfelici, L., & Benedetti, R. (1997). Effects of aging on dehydroepiandrosterone sulfate in relation to fasting insulin levels and body composition assessed by bioimpedance analysis, 46(7), 826–832.

Dufour, A. B., Hannan, M. T., Murabito, J. M., Kiel, D. P., & McLean, R. R. (2013). Sarcopenia definitions considering body size and fat mass are associated with mobility limitations: The framingham study. *Journals of Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*, 68(2), 168–174. <https://doi.org/10.1093/gerona/gls109>

- Dung, N. Q., Fusch, G., Armbrust, S., Jochum, F., & Fusch, C. (2007). Impedance index or standard anthropometric measurements, which is the better variable for predicting fat-free mass in sick children? *Acta Paediatrica*, 96(6), 869–873. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.2007.00272.x>
- Düppe, H., Gfirdsell, P., Johnell, O., & Ornstein, E. (1996). Bone Mineral Density in Female Junior, Senior and Former Football Players. *Osteoporosis International*, 6(~6), 43–441. Retrieved from <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF01629575.pdf>
- Dylke, E. S., & Ward, L. C. (2021). Three Decades of Bioelectrical Impedance Spectroscopy in Lymphedema Assessment : An Historical Perspective. *Lymphatic Research and Biology*, 19(3), 206–214. <https://doi.org/10.1089/lrb.2020.0085>
- Elia, M. (2013). Body composition by whole-body bioelectrical impedance and prediction of clinically relevant outcomes: overvalued or underused? *European Journal of Clinical Nutrition*, 67(Suppl. 1), S60–S70. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2012.166>
- Ellegård, L., Bertz, F., Winkvist, A., Bosaeus, I., & Brekke, H. K. (2016). Body composition in overweight and obese women postpartum: Bioimpedance methods validated by dual energy X-ray absorptiometry and doubly labeled water. *European Journal of Clinical Nutrition*, 70(10), 1181–1188. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2016.50>
- Ellis, K. J., Bell, S. J., Chertow, G. M., Chumlea, W. C., Knox, T. A., Kotler, D. P., ... Schoeller, D. A. (1999). Bioelectrical Impedance Methods in Clinical Research: A Follow-Up to the NIH Technology Assessment Conference. *Nutrition*, 12(11–12), 749–762.
- Emami, M., Behforouz, A., Jarahi, L., Zarifian, A., Rashidlamir, A., Rashed, M. M., ... Ghaneifar, Z. (2018). The Risk of Developing Obesity , Insulin Resistance , and Metabolic Syndrome in Former Power - sports Athletes - Does Sports Career Termination Increase the Risk. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*, 22(4), 515–519. <https://doi.org/10.4103/ijem.IJEM>
- Espinosa-Cuevas, M. D. L. Á., Rivas-Rodríguez, L., González-Medina, E. C., Atilano-Carsi, X., Miranda-Alatraste, P., & Correa-Rotter, R. (2007). Vectores de

impedancia bioeléctrica para la composición corporal en población mexicana. *Revista de Investigacion Clinica; Organo Del Hospital de Enfermedades de La Nutricion*, 59(1), 15–24.

Fahy, E., Cotter, D., Sud, M., & Subramaniam, S. (2011). Lipid classification, structures and tools. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1811(11), 637–647. <https://doi.org/10.1016/j.bbaliip.2011.06.009>.Lipid

Filho, J. M. de O., Bernardes, P. S., Serpa, G. H. C., Siqueira, G. D. de J., Noll, M., Venâncio, P. E. M., & Soares, V. (2020). Bioelectrical Vector Analysis in Obese Adolescents. *Revista Paulista de Pediatria*, 38, 1–8.

Francisco, R., Matias, C. N., Santos, D. A., Campa, F., Minderico, C. S., Rocha, P., ... Silva, A. M. (2020). The predictive role of raw bioelectrical impedance parameters in water compartments and fluid distribution assessed by dilution techniques in athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 1–14. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030759>

Frank M. van der Sande, Wal-Visscher, E. van de, Stuard, S., Moissl, U., & Kooman, J. P. (2020). Using Bioimpedance Spectroscopy to Assess Volume Status in Dialysis Patients. *Blood Purification*, 49(1–2), 178–184. <https://doi.org/10.1159/000504079>

Fürstenberg, A., & Davenport, A. (2011). Comparison of Multifrequency Bioelectrical Impedance Analysis and Dual-Energy X-ray Absorptiometry Assessments in Outpatient Hemodialysis Patients. *American Journal of Kidney Diseases*, 57(1), 123–129. <https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2010.05.022>

Garvey, M. E., Shi, L., Gona, P. N., Troped, P. J., & Camhi, S. M. (2021). Age, sex, and race/ethnicity associations between fat mass and lean mass with bone mineral density: NHANES data. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(23), 12606. <https://doi.org/10.3390/ijerph182312606>

Gkastaris, K., Goulis, D. G., Potoupnis, M., & Anastasilakis, A. D. (2020). Obesity , osteoporosis and bone metabolism. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 20(3), 372–381.

Gómez, M. P. A., Benavent, C. A., Simoni, P., Aparisi, F., Guglielmi, G., & Bazzocchi, A. (2020). Fat and bone: The multiperspective analysis of a close relationship. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 10(8), 1614–1635.

<https://doi.org/10.21037/QIMS.2020.01.11>

- Gonzalez, M. C., Barbosa-silva, T. G., Bielemann, R. M., Gallagher, D., & Heymsfield, S. B. (2016). Phase angle and its determinants in healthy subjects: influence of body composition. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 103(3), 712–716. <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.116772.1>
- Goolsby, M. A., & Boniquit, N. (2017). Bone Health in Athletes: The Role of Exercise , Nutrition , and Hormones. *Sports Health*, 9(2), 108–117. <https://doi.org/10.1177/1941738116677732>
- Gouttebarga, V., Castaldelli-maia, J. M., Gorczynski, P., Hainline, B., Hitchcock, M. E., Kerkhoffs, G. M., & Rice, S. M. (2019). Occurrence of mental health symptoms and disorders in current and former elite athletes: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 53(11), 700–706. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-100671>
- Griffin, J. R., Maxwell, T. M., & Griffin, L. (2016). The prevalence and consequences of obesity in athletes. *Current Orthopaedic Practice*, 27(2), 129–134.
- Guo, Y., Liu, H., Yang, T., Li, S. M., Li, S. K., Tian, Q., & Liu, Y. (2011). The Fat Mass and Obesity Associated Gene , FTO , Is Also Associated with Osteoporosis Phenotypes. *PLoS ONE*, 6(11), 1–5. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027312>
- Hannan, W. J., Cowen, S. J., Plester, C. E., Fearon, K. C. H., & DeBeau, A. (1995). Comparison of bio-impedance spectroscopy and multi-frequency bio-impedance analysis for the assessment of extracellular and total body water in surgical patients. *Clinical Science*, 89(6), 651–658.
- Heaney, J. (2013). Energy: Expenditure, Intake, Lack of. In T. J. R. Gellman M.D. (Ed.), *Encyclopedia of Behavioral Medicine* (Springer, pp. 699–701). New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1005-9>
- Heymsfield, S. B., Pietrobelli, A., Wang, Z., & Saris, W. H. M. (2005). The end of body composition methodology research? *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 8(6), 591–594.
- Heymsfield, S. B., Waki, M., Kehayias, J., Lichtman, S., Dilmanian, F. A., Kamen, Y., ... Jr, R. N. P. (1991). Chemical and elemental analysis of humans in vivo using

- improved body composition models. *American Journal of Physiology*, 261(2), E190-98.
- Heymsfield, S. B., Wang, Z., Baumgartner, R. N., & Ross, R. (1997). Human Body Composition: Advances in Models and Methods. *Annual Review of Nutrition*, 17(1), 527–558. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.17.1.527>
- Hill, J. O., Wyatt, H. R., & Peters, J. C. (2012). Energy Balance and Obesity. *Circulation*, 126(1), 126–132. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.111.087213>.Energy
- Hind, K. (2008). Recovery of bone mineral density and fertility in a former amenorrheic athlete. *Journal of Sports Sciences*, 7(3), 415–418.
- Hoffer, E. C., Meador, C. K., & Simpson, D. C. (1969). Correlation of whole-body impedance with total body water volume. *Journal of Applied Physiology*, 27(4), 531–534.
- Hou, J., He, C., He, W., Yang, M., Luo, X., & Li, C. (2020). Obesity and Bone Health: A Complex Link. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 8, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fcell.2020.600181>
- Hu, E., Liang, P., & Spiegelman, B. M. (1996). AdipoQ is a novel adipose-specific gene dysregulated in obesity. *Journal of Biological Chemistry*, 271(18), 10697–10703. <https://doi.org/10.1074/jbc.271.18.10697>
- International Atomic Energy Agency. (2011). *Dual Energy X Ray Absorptiometry for Bone Mineral Density and Body Composition Assessment. Human Health Series*. Viena.
- Ji, M.-X., & Yu, Q. (2015). Primary osteoporosis in postmenopausal women. *Chronic Diseases and Translational Medicine*, 1(1), 9–13. <https://doi.org/10.1016/j.cdtm.2015.02.006>
- Jonnalagadda, S. S., Skinner, R., & Moore, L. (2004). Overweight athlete: fact or fiction? *Current Sports Medicine Reports*, 3(4), 198–205. <https://doi.org/10.1249/00149619-200408000-00005>
- Kahn, B. B., & Flier, J. S. (2000). Obesity and insulin resistance. *The Journal of Clinical Investigation*, 106(4), 473–481. <https://doi.org/10.1007/BF01185522>

- Kalantari, N., Doaei, S., Keshavarz-Mohammadi, N., Gholamalizadeh, M., & Pazan, N. (2016). Review of studies on the fat mass and obesity-associated (FTO) gene interactions with environmental factors affecting on obesity and its impact on lifestyle interventions Abstract Review Article. *ARYA Atherosclerosis*, *12*(6), 281–290.
- Kalkwarf, H. J., Zemel, B. S., Gilsanz, V., Lappe, J. M., Horlick, M., Oberfield, S., ... Shepherd, J. A. (2007). The bone mineral density in childhood study: Bone mineral content and density according to age, sex, and race. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, *92*(6), 2087–2099. <https://doi.org/10.1210/jc.2006-2553>
- Karlsson, M. K. (2004). Physical activity, skeletal health and fractures in a long term perspective. *Journal of Musculoskeletal Neuronal Interactions*, *4*(1), 12–21.
- Karlsson, M. K. (2007). Does Exercise during Growth Prevent Fractures in Later Life? *Journal of Sports Science and Medicine*, *5*1, 121–136.
- Karlsson, M. K., Linden, C., Karlsson, C., Johnell, O., Obrant, K., & Seeman, E. (2000). Exercise during growth and bone mineral density and fractures in old age. *Lancet*, *355*(9202), 469–470.
- Keen, A. D., & Drinkwater, B. L. (1997). Irreversible Bone Loss in Former Amenorrheic Athletes. *Osteoporosis International*, *7*(4), 311–315.
- Kelly, T. L., Wilson, K. E., & Heymsfield, S. B. (2009). Dual Energy X-Ray Absorptiometry Body Composition Reference Values from Dual Energy X-Ray Absorptiometry Body Composition Reference Values from NHANES. *PLoS ONE*, *4*(9), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007038>
- Kettunen, J. A., Impivaara, O., Kujala, U. M., Linna, M., Mäki, J., Rätty, H., ... Sarna, S. (2010). Hip fractures and femoral bone mineral density in male former elite athletes. *Bone*, *46*(2), 330–335. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2009.10.008>
- Khalil, S. F., Mohktar, M. S., & Ibrahim, F. (2014). The Theory and Fundamentals of Bioimpedance Analysis in Clinical Status Monitoring and Diagnosis of Diseases. *Sensors*, *14*(6), 10895–10928. <https://doi.org/10.3390/s140610895>
- Knapp, K. M., Welsman, J. R., Hopkins, S. J., Shallcross, A., Fogelman, I., & Blake, G.

- M. (2015). Obesity Increases Precision Errors in Total Body Dual-Energy X-Ray Absorptiometry Measurements. *Journal of Clinical Densitometry*, *18*(2), 209–216. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2014.06.001>
- Kolodziej, M., Ignasiak, Z., & Ignasiak, T. (2021). Relationship Between Bioelectrical Impedance Parameters and Appendicular Muscle Functional Quality in Older Adults from South-Western. *Clinical Interventions in Aging*, *16*, 245–255.
- Kourkoumelis, N., Grujic, V. R., Grabez, M., Vidic, A., Siksna, I., Lazda, I., ... Ward, L. C. (2021). New bioelectrical impedance analysis equations for children and adolescents based on the deuterium dilution technique. *Clinical Nutrition ESPEN*, *44*, 402–409. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2021.05.001>
- Kriemler, S., Puder, J., Zahner, L., Roth, R., Braun-Fahrländer, C., & Bedogni, G. (2009). Cross-validation of bioelectrical impedance analysis for the assessment of body composition in a representative sample of 6- to 13-year-old children. *European Journal of Clinical Nutrition*, *63*(5), 619–626. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2008.19>
- Kuriyan, R. (2018). Body composition techniques. *Indian Journal of Medical Research*, *148*(5), 648–658. <https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR>
- Kushner, R. F. (1992). Bioelectrical impedance analysis: a review of principles and applications. *Journal of the American College of Nutrition*, *11*(2), 199–209.
- Kushner, R. F., Schoeller, D. A., Fjeld, C. R., & Danford, L. (1992). Is the impedance index (ht^2/R) significant in predicting total body water? *The American Journal of Clinical Nutrition*, *56*(5), 835–839.
- Kyle, U. G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A. D., Deurenberg, P., Elia, M., Gómez, J. M., ... Pichard, C. (2004). Bioelectrical impedance analysis - part I: review of principles and methods. *Clinical Nutrition*, *23*(5), 1226–1243. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2004.06.004>
- Kyle, U. G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A. D., Deurenberg, P., Gómez, J. M., Heitmann, B. L., ... Pichard, C. (2004). Bioelectrical impedance analysis — part II: utilization in clinical practice. *Clinical Nutrition*, *23*(6), 1430–1453. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2004.09.012>
- Lademann, F., Tsourdi, E., Hofbauer, L. C., & Rauner, M. (2020). Thyroid Hormone

Actions and Bone Remodeling - The Role of the Wnt Signaling Pathway. *Experimental and Clinical Endocrinology and Diabetes*, 128(6–7), 450–454. <https://doi.org/10.1055/a-1088-1215>

Laforgia, J., Gunn, S., & Withers, R. T. (2008). Body composition: validity of segmental bioelectrical impedance analysis. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 17(4), 586–591.

Langer, R. D., Borges, J. H., Pascoa, M. A., Cirolini, V. X., Guerra-Júnior, G., & Gonçalves, E. M. (2016). Validity of bioelectrical impedance analysis to estimation fat-free mass in the army cadets. *Nutrients*, 8(3), 121. <https://doi.org/10.3390/nu8030121>

Laskey, M. A., & Phil, D. (1996). Dual-Energy X-Ray Absorptiometry and Body Composition. *Nutrition*, 12(1), 45–51.

Lavie, C. J., Ozemek, C., Carbone, S., Katzmarzyk, P. T., & Blair, S. N. (2019). Sedentary Behavior, Exercise, and Cardiovascular Health. *Circulation Research*, 124(5), 799–815. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.118.312669>

Lee, S. Y., & Gallagher, D. (2008). Assessment methods in human body composition. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 11(5), 566–572. <https://doi.org/10.1097/MCO.0b013e32830b5f23.Assessment>

Levine, J. A. (2002). Non-exercise activity thermogenesis (NEAT). *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism*, 16(4), 679–702. <https://doi.org/10.1053/beem.2002.0227>

Liao, Y., Li, H., Lu, H., Lai, C., & Wang, Y. (2020). Comparison of Bioelectrical Impedance Analysis and Dual Energy X-ray Absorptiometry for Total and Segmental Bone Mineral Content with a Three-Compartment Model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), 2595.

Limon-Miro, A. T., Valencia, M. E., Lopez-Teros, V., Guzman-Leon, A. E., Mendivil-Alvarado, H., & Astiazaran-Garcia, H. (2019). Bioelectric Impedance Vector Analysis (BIVA) in Breast Cancer Patients: A Tool for Research and Clinical Practice. *Medicina*, 55(10), 1–8. <https://doi.org/10.3390/medicina55100663>

Liu, P., Ilich, J. Z., Brummel-smith, K., & Ghosh, S. (2014). New Insight into Fat , Muscle

- and Bone Relationship in Women: Determining the Threshold at Which Body Fat Assumes Negative Relationship with Bone Mineral Density. *International Journal of Preventive Medicine*, 5(11), 1452–1463.
- López-gómez, J. J., Pérez, J. L., & Luis, D. A. De. (2016). Impact of obesity on bone metabolism. *Endocrinología y Nutrición*, 63(10), 551–559. <https://doi.org/10.1016/j.endonu.2016.08.005>
- Lorenzo, A. de, Andreoli, A., Matthie, J., & Withers, P. (1997). Predicting body cell mass with bioimpedance by using theoretical methods : a technological review. *Journal of Applied Physiology*, 82(5), 1542–1558. <https://doi.org/10.1152/jap.1997.82.5.1542>
- Lu, H. K., Lai, C. L., Lee, L. W., Chu, L. P., & Hsieh, K. C. (2021). Assessment of total and regional bone mineral density using bioelectrical impedance vector analysis in elderly population. *Scientific Reports*, 11(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00575-1>
- Lukaski, C. (1987). Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 46(4), 537–556.
- Lukaski, H. (2013). Evolution of bioimpedance: A circuitous journey from estimation of physiological function to assessment of body composition and a return to clinical research. *European Journal of Clinical Nutrition*, 67, S2–S9. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2012.149>
- Lukaski, H. C., Diaz, N. V., Talluri, A., & Nescolarde, L. (2019). Classification of Hydration in Clinical Conditions : Indirect and Direct Approaches Using Bioimpedance. *Nutrients*, 11(4), 809. <https://doi.org/10.3390/nu11040809>
- Lukaski, H. C., Johnson, P. E., Bolonchuk, W. W., & Lykken, G. I. (1985). Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 41(4), 810–817. <https://doi.org/10.1093/ajcn/41.4.810>
- Lukaski, H. C., & Piccoli, A. (2012). Bioelectrical impedance vector analysis for assessment of hydration in physiological states and clinical conditions. In V. L. Springer (Ed.), *Handbook of Anthropometry* (Preedy, pp. 287–305). <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1788-1>

- Lukaski, H., & Piccoli, A. (2012). Handbook of Anthropometry: Physical Measures of Human Form in Health and Disease. In *Handbook of Anthropometry: Physical Measures of Human Form in Health and Disease* (pp. 287–305). <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1788-1>
- Magnusson, H., Lindén, C., Karlsson, C., Obrant, K. J., & Karlsson, M. K. (2001). Exercise may induce reversible low bone mass in unloaded and high bone mass in weight-loaded skeletal regions. *Osteoporosis International*, *12*(11), 950–955. <https://doi.org/10.1007/s001980170024>
- Malbrain, M. L. N. G., Huygh, J., Dabrowski, W., Waele, J. J. De, Staelens, A., & Wauters, J. (2014). The use of bio-electrical impedance analysis (BIA) to guide fluid management , resuscitation and deresuscitation in critically ill patients : a bench-to-bedside review. *Anaesthesiology Intensive Therapy*, *46*(5), 381–391. <https://doi.org/10.5603/AIT.2014.0061>
- Marini, E., Buffa, R., Saragat, B., Coin, A., Toffanello, E. D., Berton, L., ... Sergi, G. (2012). The potential of classic and specific bioelectrical impedance vector analysis for the assessment of sarcopenia and sarcopenic obesity. *Clinical Interventions in Aging*, *7*, 585–591.
- Marini, E., Campa, F., Buffa, R., Stagi, S., Matias, C. N., Toselli, S., ... Silva, A. M. (2020). Phase angle and bioelectrical impedance vector analysis in the evaluation of body composition in athletes. *Clinical Nutrition*, *39*(2), 447–454. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2019.02.016>
- Marini, E., Succa, V., Coin, A., & Manzato, E. (2013). Efficacy of Specific Bioelectrical Impedance Vector Analysis (BIVA) for Assessing Body Composition in the Elderly. *The Journal of Nutrition, Health and Aging*, *17*(6), 515–521. <https://doi.org/10.1007/s12603-012-0411-7>
- Marra, M., Sammarco, R., Lorenzo, A. De, Iellamo, F., Siervo, M., Pietrobelli, A., ... Contaldo, F. (2019). Assessment of Body Composition in Health and Disease Using Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) and Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA): A Critical Overview. *Contrast Media & Molecular Imaging*, *2019*(5), 1–9. <https://doi.org/10.1155/2019/3548284>
- Martins, P. C., Gobbo, L. A., Augusto, D., & Silva, S. (2021). Bioelectrical impedance

- vector analysis (BIVA) in university athletes. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 18(1), 3–10.
- Martins, P. C., Moraes, M. S., & Silva, D. A. S. (2021). How is the phase angle associated with total and regional bone mineral density in university athletes? *Physiological Measurement*, 42(8). <https://doi.org/10.3390/md19120687>
- Matias, C. N., Santos, D. A., Fields, D. A., Sardinha, L. B., & Silva, A. M. (2012). Is bioelectrical impedance spectroscopy accurate in estimating changes in fat-free mass in judo athletes? *Journal of Sports Sciences*, 30(12), 1225–1233. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.692481>
- Matias, C. N., Silva, A. M., Santos, D. A., Gobbo, L. A., Schoeller, D. A., & Sardinha, L. B. (2012). Validity of extracellular water assessment with saliva samples using plasma as the reference biological fluid. *Biomedical Chromatography*, 26(11), 1348–1352. <https://doi.org/10.1002/bmc.2702>
- Mattsson, S., & Thomas, B. J. (2006). Development of methods for body composition studies. *Physics in Medicine and Biology*, 51(13), 203–228. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/51/13/R13>
- Meczekalski, B., Katulski, K., Czyzyk, A., & Podfigurna-Stopa, A. (2014). Health in older women athletes. *Maturitas*, 79(4), 357–361. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2014.08.004>
- Melekoglu, T., Sezgin, E., Isin, A., & Türk, A. (2019). The Effects of a Physically Active Lifestyle on the Health of Former Professional Football Players. *Sports*, 7(4), 1–13. <https://doi.org/10.3390/sports7040075>
- Messina, C., Albano, D., Gitto, S., Tofanelli, L., Bazzocchi, A., Ulivieri, F. M., ... Sconfienza, L. M. (2020). Body composition with dual energy X-ray absorptiometry: from basics to new tools. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 10(8), 1687–1698. <https://doi.org/10.21037/qims.2020.03.02>
- Mialich, M. S., Sicchieri, J. M. F., & Junior, A. A. J. (2014). Analysis of Body Composition: A Critical Review of the Use of Bioelectrical Impedance Analysis. *International Journal of Clinical Nutrition*, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.12691/ijcn-2-1-1>

- Mudd, L. M., Fornetti, W., & Pivarnik, J. M. (2007). Bone Mineral Density in Collegiate Female Athletes : Comparisons Among Sports. *Journal of Athletic Training*, 42(3), 403–408.
- Mulasi, U., Kuchnia, A. J., Cole, A. J., & Earthman, C. P. (2015). Bioimpedance at the Bedside: Current Applications , Limitations , and Opportunities Principles of Bioimpedance. *Nutrition in Clinical Practice*, 30(2), 180–193. <https://doi.org/10.1177/0884533614568155>
- Nana, A., Slater, G., Stewart, A. D., & Burke, L. M. (2014). Methodology Review: Using Dual-Energy X-ray Absorptiometry (DXA) for the Assessment of Body Composition in Athletes and Active People. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 25(2), 198–215. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2013-0228>
- Nattiv, A., Loucks, A. B., Manore, M. M., Sanborn, C. F., Sundgot-Borgen, J., & Warren, M. P. (2007). The female athlete triad. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(10), 1867–1882. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318149f111>
- Nickerson, B. S., & Tinsley, G. M. (2018). Utilization of BIA-Derived Bone Mineral Estimates Exerts Minimal Impact on Body Fat Estimates via Multi-Compartment Models in Physically Active Adults. *Journal of Clinical Densitometry*, 21(4), 541–549. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2018.02.003>
- Nieves, J. W., Formica, C., Ruffing, J., Zion, M., Garrett, P., Lindsay, R., & Cosman, F. (2005). Males Have Larger Skeletal Size and Bone Mass Than Females, Despite Comparable Body Size. *Journal of Bone and Mineral Research*, 20(3), 529–535. <https://doi.org/10.1359/JBMR.041005>
- Nordström, A., Karlsson, C., Nyquist, F., Olsson, T., Nordström, P., & Karlsson, M. (2005). Bone loss and fracture risk after reduced physical activity. *Journal of Bone and Mineral Research*, 20(2), 202–207. <https://doi.org/10.1359/JBMR.041012>
- Norman, K., Stobäus, N., Pirlich, M., & Bosy-westphal, A. (2012). Bioelectrical phase angle and impedance vector analysis e Clinical relevance and applicability of impedance parameters. *Clinical Nutrition*, 31(6), 854–861. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2012.05.008>
- Nuttall, F. Q. (2015). Body Mass Index: Obesity, BMI, and health: A critical review.

Nutrition Today, 50(3), 117–128. <https://doi.org/10.1097/NT.0000000000000092>

- Ofenheimer, A., Breyer-Kohansal, R., Hartl, S., Burghuber, O. C., Krach, F., Schrott, A., ... Breyer, M. K. (2020). Reference values of body composition parameters and visceral adipose tissue (VAT) by DXA in adults aged 18–81 years—results from the LEAD cohort. *European Journal of Clinical Nutrition*, 74(8), 1181–1191. <https://doi.org/10.1038/s41430-020-0596-5>
- Organ, L. W., Bradham, G. B., Gore, D. T., & Lozier, S. L. (1994). Segmental bioelectrical impedance analysis: theory and application of a new technique. *Journal of Applied Physiology*, 77(1).
- Orsso, C. E., Silva, M. I. B., Gonzalez, M. C., Rubin, D. A., Heymsfield, S. B., Prado, C. M., & Haqq, A. M. (2020). Assessment of body composition in pediatric overweight and obesity: A systematic review of the reliability and validity of common techniques. *Obesity Reviews*, 21(8), 1–18. <https://doi.org/10.1111/obr.13041>
- Paffenbarger, R. S., Jr, & Lee, I.-M. (1998). A natural history of athleticism, health and longevity. *Journal of Sports Sciences*, 16(Sup 1), 31–45. <https://doi.org/10.1080/026404198366957>
- Park, J. H., Jo, Y., & Lee, J. (2018). Clinical usefulness of bioimpedance analysis for assessing volume status in patients receiving maintenance dialysis. *The Korean Journal of Internal Medicine*, 8(33), 660–669.
- Pasco, J. A., Nicholson, G. C., Brennan, S. L., & Kotowicz, M. A. (2012). Prevalence of obesity and the relationship between the body mass index and body fat: Cross-sectional, population-based data. *PLoS ONE*, 7(1), :e29580. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029580>
- Patil, B. R., Patkar, D., Mandlik, S. A., & Kuswarkar, M. M. (2012). Estimation of bone mineral content from bioelectrical impedance analysis in Indian adults aged 23-81 years : A comparison with Dual energy X-ray Absorptiometry. *International Journal of Biomedical Engineering and Technology*, 8(1), 99–114. <https://doi.org/10.1504/IJBET.2012.045360>
- Piccoli, A. (2010). Bioelectric Impedance Measurement for Fluid Status Assessment. *Kidney International*, 164, 143–152.

- Piccoli, A., Pillon, L., & Dumler, F. (2002). Impedance vector distribution by sex, race, body mass index, and age in the United States: Standard reference intervals as bivariate Z scores. *Nutrition*, *18*(2), 153–167. [https://doi.org/10.1016/S0899-9007\(01\)00665-7](https://doi.org/10.1016/S0899-9007(01)00665-7)
- Piccoli, A., Rossi, B., Pillon, L., & Bucciante, G. (1994). A new method for monitoring body fluid variation by bioimpedance analysis: The RXc graph. *Kidney International*, *46*(2), 534–539. <https://doi.org/10.1038/ki.1994.305>
- Pietrobelli, A., Formica, C., Wang, Z., & Heymsfield, S. B. (1996). Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: Review of physical concepts. *American Journal of Physiology - Endocrinology And Metabolism*, *271*(6), 941–951. <https://doi.org/10.1002/oby.20323>
- Proietto, J. (2020). Obesity and Bone. *F1000Research*, *9*, 1111.
- Qiao, D., Li, Y., Liu, X., Zhang, X., Qian, X., Zhang, H., ... Wang, C. (2020). Association of obesity with bone mineral density and osteoporosis in adults : a systematic review and meta-analysis. *Public Health*, *180*, 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2019.11.001>
- Reifsteck, B. E. J., Gill, D. L., Brooks, D. L., & The, D. L. (2013). The Relationship between Athletic Identity and Physical Activity among Former College Athletes. *Athletics Insight*, *5*(3), 271–284.
- Ritz, P., Vol, S., Berrut, G., Tack, I., Arnaud, M. J., & Tichet, J. (2008). Influence of gender and body composition on hydration and body water spaces. *Clinical Nutrition*, *27*(5), 740–746. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2008.07.010>
- Rothman, K. J. (2008). BMI-related errors in the measurement of obesity. *International Journal of Obesity*, *32*(Suppl 3), 56–59. <https://doi.org/10.1038/ijo.2008.87>
- Rothney, M. P., Brychta, R. J., Schaefer, E. V., Chen, K. Y., & Skarulis, M. C. (2009). Body Composition Measured by Dual-energy X-ray Absorptiometry Half-body Scans in Obese Adults. *Obesity (Silver Spring)*, *17*(6), 1281–1286. <https://doi.org/10.1038/oby.2009.14>
- Ruggieri, G. (2019). BIA Resistance and Reactance: Correlation with Somatic Features and Peritoneal Dialysis Treatment in 17 Males and 32 Females. *World Journal of*

- Sagayama, H., Kondo, E., Tanabe, Y., Ohnishi, T., & Yamada, Y. (2020). Bone mineral density in male weight-classified athletes is higher than that in male endurance-athletes and non-athletes. *Clinical Nutrition ESPEN*, 36, 106–110. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2020.01.008>
- Salmi, J. A. (2003). Body composition assessment with segmental multifrequency bioimpedance Method. *Journal of Sports Science & Medicine*, 2(Suppl.3).
- Santos, D. A., Dawson, J. A., Matias, C. N., Rocha, P. M., Minderico, C. S., Allison, D. B., ... Silva, A. M. (2014). Reference values for body composition and anthropometric measurements in athletes. *PLOS ONE*, 9(5), 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097846>
- Santos, D. A., Gobbo, L. A., Matias, C. N., Petroski, E. L., Gonçalves, E. M., Cyrino, E. S., ... Silva, A. M. (2013). Body composition in taller individuals using DXA: A validation study for athletic and non-athletic populations. *Journal of Sports Sciences*, 31(4), 405–413. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.734918>
- Saragat, B., Buffa, R., Mereu, E., Rui, M. De, Coin, A., Sergi, G., & Marini, E. (2014). Specific bioelectrical impedance vector reference values for assessing body composition in the Italian elderly. *Experimental Gerontology*, 50(1), 52–56. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2013.11.016>
- Sardinha, L. B. (2018). Physiology of exercise and phase angle: another look at BIA. *European Journal of Clinical Nutrition*, 72(9), 1323–1327. <https://doi.org/10.1038/s41430-018-0215-x>
- Sardinha, L. B., Correia, I. R., Magalhães, J. P., Júdice, P. B., Silva, A. M., & Hetherington-Rauth, M. (2020). Development and validation of BIA prediction equations of upper and lower limb lean soft tissue in athletes. *European Journal of Clinical Nutrition*, 74(12), 1646–1652. <https://doi.org/10.1038/s41430-020-0666-8>
- Savastano, S., Belfiore, A., Somma, C. Di, Mauriello, C., Rossi, A., Pizza, G., ... Colao, A. (2010). Validity of Bioelectrical Impedance Analysis to Estimate Body Composition Changes After Bariatric Surgery in Premenopausal Morbidly Women. *Obesity Surgery*, 20(3), 332–339. <https://doi.org/10.1007/s11695-009-0006-5>

- Savvidis, C., Tournis, S., & Dede, A. D. (2018). Obesity and bone metabolism. *Hormones, 17*(2), 205–217.
- Scheller, E. L., Cawthorn, W. P., Burr, A. A., Horowitz, M. C., & MacDougald, O. A. (2016). Marrow Adipose Tissue: Trimming the Fat. *Trends in Endocrinology and Metabolism, 27*(6), 392–403. <https://doi.org/10.1016/j.tem.2016.03.016>
- Schetz, M., Jong, A. De, Deane, A. M., Druml, W., Hemelaar, P., Pelosi, P., ... Jaber, S. (2019). Obesity in the critically ill: a narrative review. *Intensive Care Medicine, 45*(6), 757–769. <https://doi.org/10.1007/s00134-019-05594-1>
- Schmitt, H., Friebe, C., Schneider, S., & Sabo, D. (2005). Bone Mineral Density and Degenerative Changes of the Lumbar Spine in Former Elite Athletes. *International Journal of Sports Medicine, 26*(6), 457–463. <https://doi.org/10.1055/s-2004-820991>
- Schoenaker, D. A. J. M., Jackson, C. A., Rowlands, J. V., & Mishra, G. D. (2014). Socioeconomic position, lifestyle factors and age at natural menopause: A systematic review and meta-analyses of studies across six continents. *International Journal of Epidemiology, 43*(5), 1542–1562. <https://doi.org/10.1093/ije/dyu094>
- Schorr, M., Dichtel, L. E., Gerweck, A. V., Valera, R. D., Torriani, M., Miller, K. K., & Bredella, M. A. (2018). Sex differences in body composition and association with cardiometabolic risk. *Biology of Sex Differences, 9*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13293-018-0189-3>
- Scofield, K. L., & Hecht, S. (2012). Bone Health in Endurance Athletes. *Current Sports Medicine Reports, 11*(6), 328–334. <https://doi.org/10.1249/jsr.0b013e3182779193>
- Segheto, K. J., Juvanhol, L. L., Carvalho, C. J. de, Silva, D. C. G. da, Kakehasi, A. M., & Longo, G. Z. (2020). Factors associated with bone mineral content in adults: a population-based study. *Einstein (São Paulo), 18*(8), 1–7. <https://doi.org/10.31744/einstein>
- Semlitsch, T., Stigler, F. L., Jeitler, K., Horvath, K., & Siebenhofer, A. (2019). Management of overweight and obesity in primary care—A systematic overview of international evidence-based guidelines. *Obesity Reviews, 20*(9), 1218–1230. <https://doi.org/10.1111/obr.12889>
- Sergi, G., De Rui, M., Veronese, N., Bolzetta, F., Berton, L., Carraro, S., ... Perissinotto,

- E. (2015). Assessing appendicular skeletal muscle mass with bioelectrical impedance analysis in free-living Caucasian older adults. *Clinical Nutrition*, *34*(4), 667–673. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2014.07.010>
- Shadrin, I. Y., Khodabukus, A., & Bursac, N. (2016). Striated muscle function, regeneration, and repair. *Cellular and Molecular Life Sciences*, *73*(22), 4175–4202. <https://doi.org/10.1007/s00018-016-2285-z>
- Shapses, S. A., Pop, L. C., & Wang, Y. (2017). Obesity is a concern for bone health with aging. *Nutrition Research*, *39*, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2016.12.010>. Obesity
- Shepherd, J., Ng, B., Sommer, M., & Heymsfield, S. B. (2017). Body Composition by DXA. *Bone*, *104*, 101–105. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2017.06.010>. Body
- Shuhart, C. R., Yeap, S. S., Anderson, P. A., Jankowski, L. G., Lewiecki, E. M., Morse, L. R., ... Shepherd, J. A. (2019). Executive Summary of the 2019 ISCD Position Development Conference on Monitoring Treatment, DXA Cross-calibration and Least Significant Change, Spinal Cord Injury, Peri-prosthetic and Orthopedic Bone Health, Transgender Medicine, and Pediatrics. *Journal of Clinical Densitometry*, *22*(4), 453–471. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2019.07.001>
- Silva, A. M., Fields, D. A., & Sardinha, L. B. (2013). A PRISMA-Driven Systematic Review of Predictive Equations for Assessing Fat and Fat-Free Mass in Healthy Children and Adolescents Using Multicomponent Molecular Models as the Reference Method. *Journal of Obesity*, *2013*.
- Silva, A. M., Matias, C. N., Nunes, C. L., Santos, D. A., Marini, E., Lukaski, H. C., & Sardinha, L. B. (2019). Lack of agreement of in vivo raw bioimpedance measurements obtained from two single and multi-frequency bioelectrical impedance devices. *European Journal of Clinical Nutrition*, *73*(7), 1077–1083. <https://doi.org/10.1038/s41430-018-0355-z>
- Silva, A. M., Nunes, C. L., Jesus, F., Francisco, R., Matias, C. N., Cardoso, M., ... Sardinha, L. B. (2021). Effectiveness of a lifestyle weight-loss intervention targeting inactive former elite athletes: the Champ4Life randomised controlled trial. *British Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-104212>
- Silva, A. M., Nunes, C. L., Matias, C. N., Jesus, F., & Francisco, R. (2020). Champ4life

Study Protocol: A One-Year Randomized Controlled Trial of a Lifestyle Intervention for Inactive Former Elite Athletes with Overweight / Obesity. *Nutrients*, 12(2), 286. <https://doi.org/10.3390/nu12020286>

Slinde, F., & Rossander-Hulthén, L. (2001). Bioelectrical impedance: Effect of 3 identical meals on diurnal impedance variation and calculation of body composition. *American Journal of Clinical Nutrition*, 74(4), 474–478. <https://doi.org/10.1093/ajcn/74.4.474>

Smith-Ryan, A. E., Mock, M. G., Ryan, E. D., Gerstner, G. R., Eric, T., & Hirsch, K. R. (2018). Validity and reliability of a 4-compartment body composition model using dual energy x-ray absorptiometry-derived body volume. *Clinical Nutrition*, 36(3), 825–830. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2016.05.006>. Validity

Snyder, W. S., Cook, M. J., Nasset, E. S., Karhausen, L. R., Howells, O. P., & Tipton, I. H. (1984). Report of the Task Group on Reference Man Report of the Task Group on Reference Man. *Oxford: Pergamon Press*, 3(1–4).

Stagi, S., Iurtia, A., Rosales, J., Cabras, S., & Buffa, R. (2021). Segmental body composition estimated by specific BIVA and Dual-Energy X-ray Absorptiometry Segmental body composition estimated by specific BIVA and dual-energy X-ray absorptiometry. *Clinical Nutrition*, 40(4), 1621–1627. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2021.02.043>

Stewart, A. D. (2010). Kinanthropometry and body composition: A natural home for three-dimensional photonic scanning for three-dimensional photonic scanning. *Journal of Sports Sciences*, 28(5), 455–457. <https://doi.org/10.1080/02640411003661304>

Stone, T. M., Wingo, J. E., Nickerson, B. S., & Esco, M. R. (2018). Comparison of Bioelectrical Impedance Analysis and Dual Energy X-ray Absorptiometry for Estimating Bone Mineral Content. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 28(5), 542–546.

Stubbs, R. J., Hughes, D. A., Johnstone, A. M., Horgan, G. W., King, N., & Blundell, J. E. (2004). A decrease in physical activity affects appetite, energy, and nutrient balance in lean men feeding ad libitum. *American Journal of Clinical Nutrition*, 79(1), 62–69. <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.1.62>

- Sun, S. S., Chumlea, W. C., Heymsfield, S. B., Lukaski, H. C., Schoeller, D., Friedl, K., ... Hubbard, V. S. (2003). Development of bioelectrical impedance analysis prediction equations for body composition with the use of a multicomponent model for use in epidemiologic surveys. *American Journal of Clinical Nutrition*, *77*(2), 331–340. <https://doi.org/10.1093/ajcn/77.2.331>
- Tang, Y., Gong, L., Chen, X., Du, Z., Hu, J., Xu, Z., ... Wang, Z. (2020). Age-related changes in body composition and bone mineral density and their relationship with the duration of diabetes and glycaemic control in type 2 diabetes. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy*, *13*, 4699–4710. <https://doi.org/10.2147/DMSO.S278425>
- Tataranni, A. (1995). Use of dual-energy X-ray absorptiometry in obese individuals Use of dual-energy X-ray absorptiometry in obese. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *62*(4), 730–734. <https://doi.org/10.1093/ajcn/62.4.730>
- Tencerova, M., Frost, M., Figeac, F., Nielsen, T. K., Ali, D., Lauterlein, J.-J. L., ... Kassem, M. (2019). Obesity-Associated Hypermetabolism and Accelerated Senescence of Bone Marrow Stromal Stem Cells Suggest a Potential Mechanism for Bone Fragility. *Cell Reports*, *27*(7), 2050–2062. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2019.04.066>
- Tenforde, A. S., Barrack, M. T., Nattiv, A., & Fredericson, M. (2016). Parallels with the Female Athlete Triad in Male Athletes. *Sports Medicine*, *46*(2), 171–182. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0411-y>
- Tervo, T., Nordström, P., Neovius, M., & Nordström, A. (2008). Constant adaptation of bone to current physical activity level in men: A 12-year longitudinal study. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, *93*(12), 4873–4879. <https://doi.org/10.1210/jc.2008-1313>
- Thomas, D. T., Erdman, K. A., & Burke, L. M. (2016). American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, *116*(3), 501–528. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2015.12.006>
- Torstveit, M. K., & Sundgot-Borgen, J. (2012). Are under-and overweight female elite athletes thin and fat? A controlled study. *Medicine and Science in Sports and*

Exercise, 44(5), 949–957. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31823fe4ef>

- Toselli, S., Marini, E., Latessa, P. M., Benedetti, L., & Campa, F. (2020). Maturity Related Differences in Body Composition Assessed by Classic and Specific Bioimpedance Vector Analysis among Male Elite Youth Soccer Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 729.
- Turcotte, A.-F., O'Connor, S., Morin, S. N., Gibbs, J. C., Willie, B. M., Jean, S., & Gagnon, C. (2021). Association between obesity and risk of fracture, bone mineral density and bone quality in adults: A systematic review and. *PLOS ONE*, 16(6), 1–39. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252487>
- Tveit, M., Rosengren, B. E., Nyquist, F., Nilsson, J.-A., & Karlsson, M. K. (2013). Former Male Elite Athletes Have Lower Incidence of Fragility Fractures Than Expected. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(3), 405–411.
- Uzunca, K., Birtane, M., Durmus-Altun, G., & Ustun, F. (2005). High bone mineral density in loaded skeletal regions of former professional football (soccer) players: what is the effect of time after active career? *British Journal of Sports Medicine*, 39(3), 154–157. <https://doi.org/10.1136/bjism.2003.011494>
- Van Marken Lichtenbelt WD. (2001). The use of bioelectrical impedance analysis (BIA) for estimation of body composition. In Cambridge University Press (Ed.), *Body composition analysis of animals: a handbook of non-destructive methods* (pp. 161–187). Cambridge, U.K.
- Vasold, K. L., Parks, A. C., Phelan, D. M. L., Pontifex, M. B., & Pivarnik, J. M. (2019). Reliability and Validity of Commercially Available Low-cost Bioelectric Impedance Analysis. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 29(4), 406–410.
- Vincenzo, O. Di, Marra, M., & Scalfi, L. (2019). Bioelectrical impedance phase angle in sport: a systematic review. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1).
- Volp, A. C. P., Oliveira, F. C. E. de, Alves, R. D. M., Esteves, E. A., & Bressan, J. (2011). Energy expenditure: components and evaluation methods. *Nutricion Hospitalaria*, 26(3), 430–440. <https://doi.org/10.3305/nh.2011.26.3.5181>

- Walsh, J. S., & Vilaca, T. (2017). Obesity , Type 2 Diabetes and Bone in Adults. *Calcified Tissue International*, *100*(5), 528–535. <https://doi.org/10.1007/s00223-016-0229-0>
- Wang, L., Hui, S. S. C., & Wong, S. H. S. (2014). Validity of bioelectrical impedance measurement in predicting fat-free mass of Chinese children and adolescents. *Medical Science Monitor*, *20*, 2298–2310. <https://doi.org/10.12659/MSM.890696>
- Wang, Z.-M., Heshka, S., Jr, R. N. P., & Heymsfield, S. B. (2018). Systematic organization of body-composition methodology: an overview with emphasis on component-based. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *61*(3), 457–465.
- Wang, Z.-M., Jr., R. N. P., & Heymsfield, S. B. (1992). The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *56*(1), 19–28.
- Wang, Z., Shen, W., Kotler, D. P., Heshka, S., Wielopolski, L., Aloia, J. F., ... Heymsfield, S. B. (2003). Total body protein: a new cellular level mass and distribution. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *78*(5), 979–984.
- Warburton, D. E. R., & Bredin, S. S. D. (2017). Health benefits of physical activity: a systematic review of current systematic reviews. *Current Opinion in Cardiology*, *32*(5), 541–556. <https://doi.org/10.1097/HCO.0000000000000437>
- Ward, L. C. (2012). Segmental bioelectrical impedance analysis: an update. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, *15*(5), 424–429. <https://doi.org/10.1097/MCO.0b013e328356b944>
- Ward, L. C. (2018). Bioelectric impedance phase angle and body composition: reflections on accuracy, clinical utility, and standardisation. *European Journal of Clinical Nutrition*, *73*(2), 194–199. <https://doi.org/10.1038/s41430-018-0335-3>
- Wells, J. C. K., Williams, J. E., Quek, R. Y., & Fewtrell, M. S. (2019). Bio-electrical impedance vector analysis: testing Piccoli’s model against objective body composition data in children and adolescents. *European Journal of Clinical Nutrition*, *73*, 887–895. <https://doi.org/10.1038/s41430-018-0292-x>
- Wells, J. C., Williams, J. E., Ward, L. C., & Fewtrell, M. S. (2021). Utility of specific bioelectrical impedance vector analysis for the assessment of body composition in children. *Clinical Nutrition*, *40*(3), 1147–1154.

<https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.07.022>

- Weyer, S., Röthlingshöfer, L., Walter, M., & Leonhardt, S. (2012). Evaluation of Bioelectrical Impedance Spectroscopy for the Assessment of Extracellular Body Water. *Acta Polytechnica*, 52(5), 120–124.
- Williams, N. I., Statuta, S. M., & Austin, A. (2017). Female Athlete Triad: Future Directions for Energy Availability and Eating Disorder Research and Practice. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 36(4), 671–686. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.03.040>
- Withers, R. T., Laforgia, J., Pillans, R. K., Shipp, N. J., Chatterton, B. E., Schultz, C. G., & Leaney, F. (1998). Comparisons of two-, three-, and four-compartment models of body composition analysis in men and women. *Journal of Applied Physiology*, 85(1), 238–245. <https://doi.org/10.1152/jappl.1998.85.1.238>
- World Health Organization. (2020). *WHO Guidelines on Physical Activity and Sedentary Behaviour*. <https://doi.org/10.4324/9780203795002>
- Wu, B. N., & O’Sullivan, A. J. (2011). Sex Differences in Energy Metabolism Need to Be Considered with Lifestyle Modifications in Humans. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2011(5). <https://doi.org/10.1155/2011/391809>
- Yao, P., & Laurencelle, L. (2020). Former athletes’ lifestyle and self-definition changes after retirement from sports. *Journal of Sport and Health Science*, 9(4), 376–383. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2018.08.006>
- Ye, J. (2013). Mechanisms of insulin resistance in obesity. *Frontiers in Medicine*, 7(1), 14–24. <https://doi.org/10.22478/ufpb.1809-4783.2017v27n2.35758>
- Zhang, F., Teng, Z., Yang, Y., Zhong, H., Li, J., Rutkove, S. B., & Sanchez, B. (2020). A Novel Method for Estimating the Fractional Cole Impedance Model Using Single-Frequency DC-Biased Sinusoidal Excitation. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 40(20), 543–558. <https://doi.org/10.1007/s00034-020-01512-9>
- Zheng, H., Lenard, N. R., Shin, A. C., & Berthoud, H. (2009). Appetite control and energy balance regulation in the modern world: reward-driven brain overrides repletion signals. *International Journal of Obesity*, 33(Suppl 2), S8-13. <https://doi.org/10.1038/ijo.2009.65>

Zhu, S., & Wang, Z. (2011). Body composition: clinical implications and biological diversities. *International Journal of Obesity*, 35, S1–S3.
<https://doi.org/10.1038/ijo.2011.69>

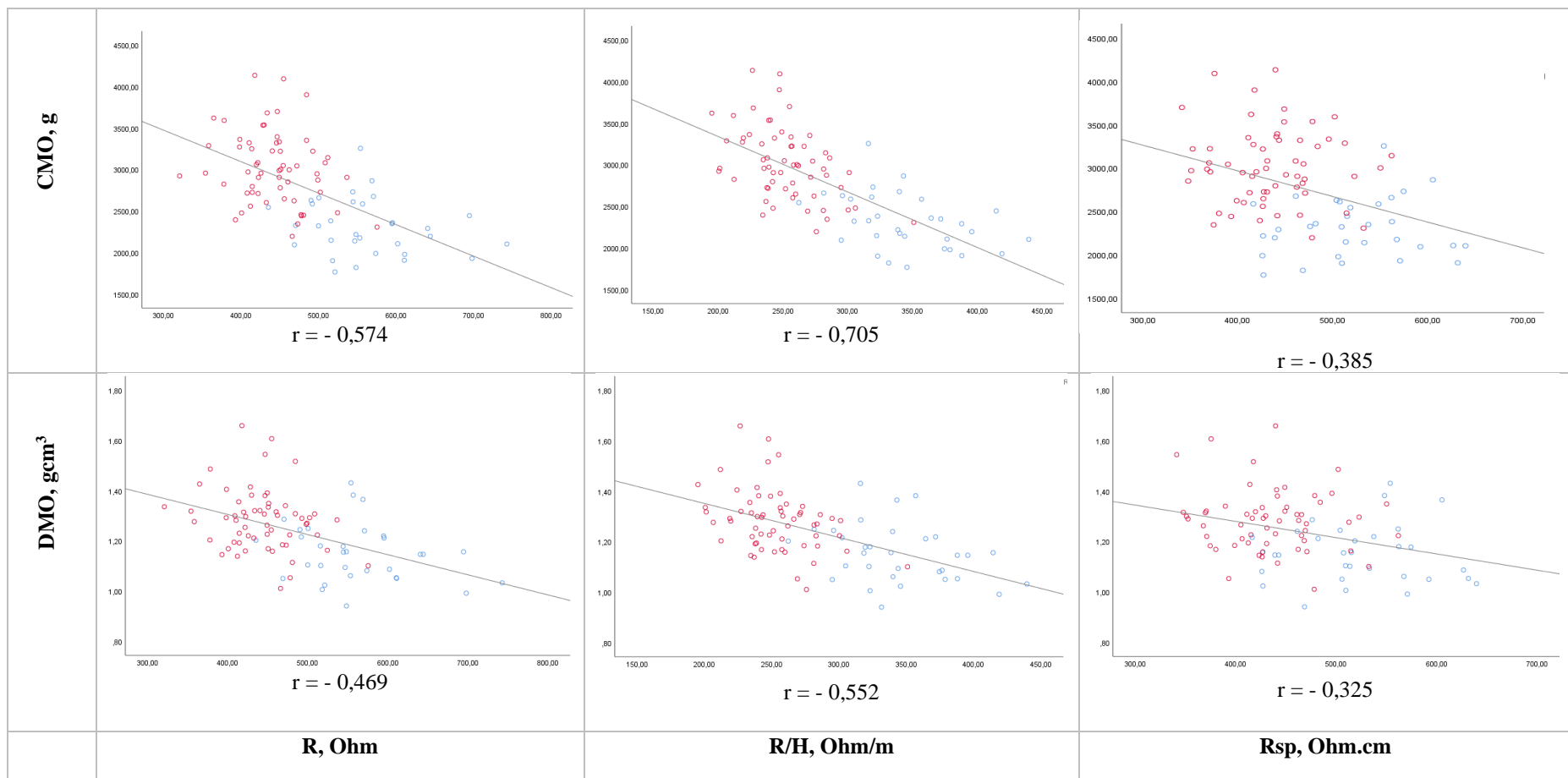


Figura 14 - Correlação entre a Resistência (R), a R ajustada para a altura (R/H) e a R ajustada para a altura e área de secção transversal (R_{sp}) com o CMO e DMO.

Abreviaturas: R, Resistência; H, Altura; sp: Específica; CMO, Conteúdo Mineral Ósseo; DMO, Densidade Mineral Óssea; g, gramas; m, metros; cm, centímetros.

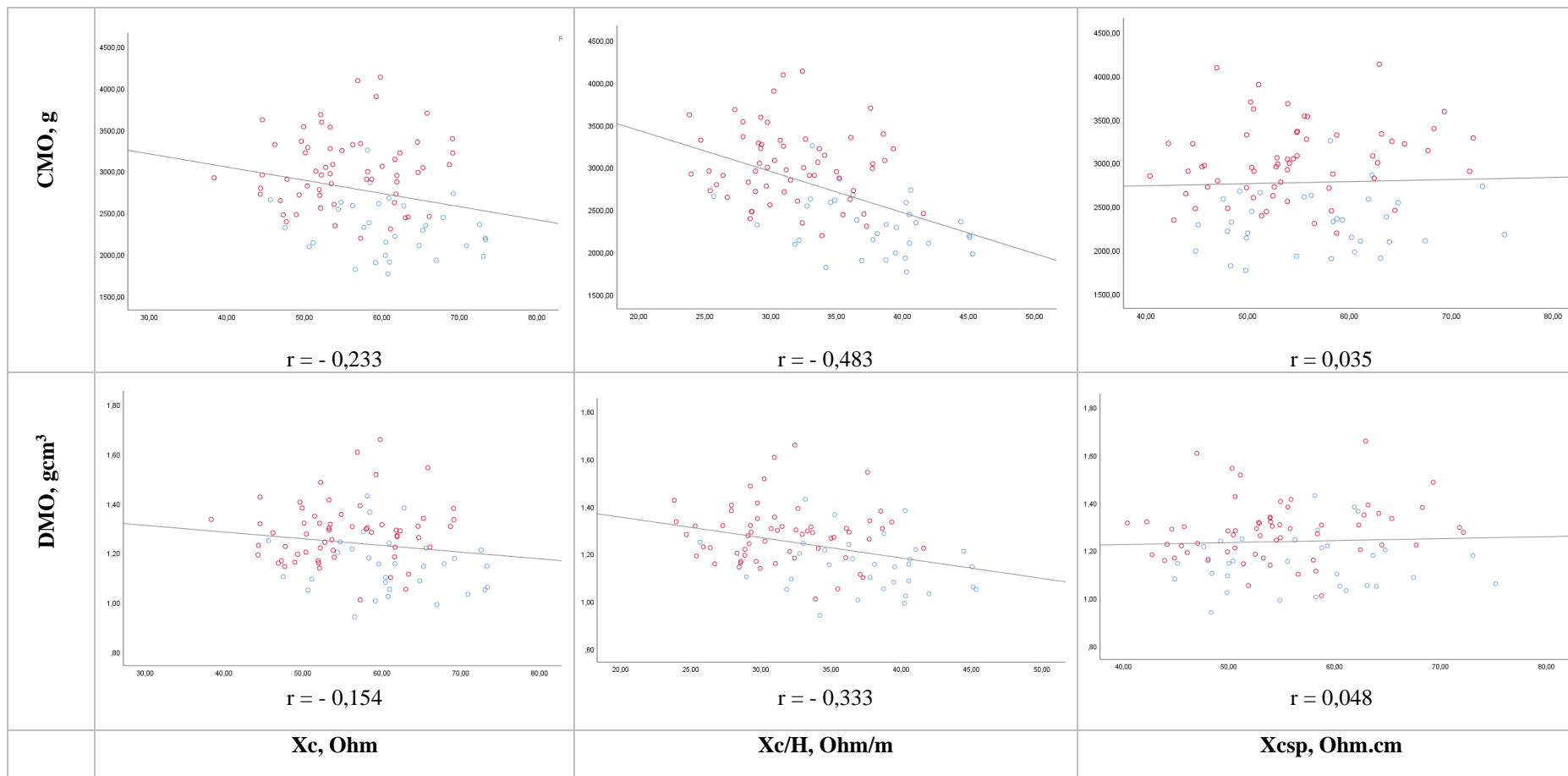


Figura 15- Correlação entre a Reactância (X_c), a X_c ajustada para a altura (X_c/H) e a X_c ajustada para a altura e área de secção transversal (X_{csp}) com o CMO e DMO.

Abreviaturas: X_c , Reactância; H, Altura; sp: Específica; CMO, Conteúdo Mineral Ósseo; DMO, Densidade Mineral Óssea; g, gramas; m, metros; cm, centímetros.